TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование электрохимической активности электрода с покрытием наночастицами металлов

УДК 661.961:544.65.076.32-022.532

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Бисярин Никита Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШХБМТ	Шеремет Евгения Сергеевна	PhD, профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	к. э. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна	Старший преподаватель		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ПК(У)-1	Способностью использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-2	Способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа

ПК(У)-3.	Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
ПК(У)-4.	Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5.	Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6.	Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7.	Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9.	Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10.	Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11.	Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12.	Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
ПК(У)-13.	Способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда
ПК(У)-14.	Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
ПК(У)-15	Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ _____ Селиваникова О.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	**ФИО**
0А93	Бисярину Никите Сергеевичу

Тема работы:

Исследование электрохимической активности электрода с покрытием наночастицами металлов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2023 №31-8/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	В рамках исследования должен быть разработан и изготовлен электрод покрытый наночастицами металлов с помощью лазерной технологии.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Проведение литературного обзора по теме исследования; разработка и изготовление электродов, покрытых наночастицами металлов; сборка установки, с помощью которой можно будет получать водород и данные эксперимента; обработка полученных данных и определение электрохимической активности
Перечень графического материала	Презентация к защите ВКР Электрическая схема

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Передерин Ю.В., доцент ОЯТЦ ИЯТШ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Л.Ю., доцент ОСГН ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШХБМТ	Шеремет Е.С.	PhD		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А9З	Бисярин Никита Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 97 страниц, 24 рисунка, 23 таблицы, 36 использованных источников.

Ключевые слова: электролиз воды, повышение эффективности электролиза, исследование, лазерное облучение, наночастицы.

В связи с угрозой катастрофического потепления окружающей среды, человечеству необходимо перейти на экологически безопасные источники энергии, одним из которых является водород. Цель работы: разработка и получение недорогих электродов для электролиза воды методом лазерного облучения наночастиц на полиэтилентерефталате (ПЭТ). Объектом исследования являются электрохимические свойства электродов, их стабильность для повышения технико-экономических показателей данного метода получения водорода. Указаны необходимые меры безопасности при работе с данными установками.

Проведен теоретический расчет экономических показателей при модернизации электродов разработанных методом лазерной гравировки. Подсчитан и проведен анализ экономического эффект и перспектив развития данного направления.

Анализ социальной ответственности при эксплуатации установок на водороде выявил ряд важных факторов обеспечения безопасности, проработаны возможные вредные и опасные факторы. Выявлены возможные ЧС, как при эксплуатации, так и при дальнейшем исследовании метода расщепления воды и получения электрода. Разработан план действий в случае возникновения ЧС.

Сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

ПЭТ – полиэтилентерефталат;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПВП – поливинилпирролидон;

CoPc – фталоцианиновый кобальт;

MPc – фталоцианиновый металл;

HER – реакция выделения водорода;

OER – реакция выделения кислорода;

ПК – персональный компьютер.

Содержание

Задание 4

Реферат 6

Введение 11

1.1 Электролитическое расщепление воды 16

1.1.2 Определение массы получаемого водорода при прохождении тока через электролит 18

1.1.3 Фталоцианиновые металлы в качестве перспективных электрокатализаторов 20

1.2 Фотоэлектрокаталитическое расщепление воды 22

1.2.1 Рассмотрение нитрида углерода как перспективного фотокаталитического материала для получения водорода 25

1.2.2 Управление запрещённой зоной C_3N_4 27

2 Экспериментальная часть 29

2.1 Подготовка материалов к проведению экспериментов 29

2.2 Проверка электродов на рамановском спектрометре 32

2.3 Получение данных с оптического микроскопа 33

2.4 Метод получения данных при электролизе воды 35

2.4 Проведение эксперимента 39

2.5 Экспериментальное определение эффективности преобразования электроэнергии в водородную энергию для сплава индия-олова, с покрытием и без покрытия 43

2.6 Выводы по основной части 48

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 50

3.1 Введение 51

3.2 Анализ исследовательской работы 52
3.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования 52
3.2.2 Анализ конкурентных технических решений 53
3.2.3 SWOT – анализ 55
3.3 Планирование научно-исследовательских работ 58
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования 58
3.3.2 Определение трудоёмкости выполнения работ 60
3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования. 61
3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 66
3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ 67
3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ . 68
3.4.3 Основная заработная плата исполнителя темы. 69
3.4.4 Расчёт дополнительной заработной платы 73
3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды 74
3.4.6 Накладные расходы 75
3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта 75
3.4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 76
3.4.9 Заключение 79
4 Социальная ответственность 81
4.1 Введение 81
4.2 Компоновка исследовательской рабочей зоны 82
4.3 Вредные и опасные факторы рабочей зоны 83
4.4 Микроклимат 84

4.5 Уровень шума 85
4.6 Освещенность 86
4.7 Электробезопасность 87
4.8 Взрывопожароопасность 88
4.9 Радиационная безопасность 89
4.10 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях 90
4.11 Выводы по разделу «Социальная ответственность» 91
Заключение 92
Список использованных источников 94

Введение

В настоящее время мировая энергетика, значительная доля которой основана на таких полезных ископаемых, как уголь, нефть, газ и другие, даже по наиболее оптимистичным прогнозам, находится в предкризисной фазе в силу исчерпания ископаемых топлив (речь идёт в особенности про нефть и газ). Кроме того, считается доказанным, что для предотвращения катастрофического потепления климата человечество должно сократить выбросы парниковых газов за счет перехода на экологически безопасные источники энергии такие как атомные электростанции энергии, солнечные или ветровые генераторы энергии, энергию приливов и другие.

Водород как источник энергии обладает высокой энергоёмкостью (при сжигании 1 кг водорода выделяется 118,5 МДж энергии), высоким коэффициентом полезного действия (порядка 70 % - 80 %), а при реакции горения данного вещества образуется только водяной пар [13]. На планете присутствует огромное количество воды, ресурс является практически неисчерпаемым. Особенно привлекательно получение водорода расщеплением воды, поскольку в данном процессе можно реализовать замкнутый цикл, ведь при расщеплении воды образуется водород, а при горении водорода образуется вода снова.

Есть целый ряд методов расщепления воды, из которых электролиз является наиболее широко исследуемым. Наиболее эффективным электродом для электролиза является платина, однако постоянно ведутся поиски более дешевых альтернатив, которые также должны отличаться стабильностью, и, желательно, должна быть возможность их дополнительно модифицировать так, чтобы увеличить эффективность процесса комбинируя процессы.

В данной работе в качестве катода будет применяться полимер, с гибридным покрытием, содержащим наночастицы металлов, обработанные лазерным излучением. Такой электрод должен отличаться дешевизной. в качестве анода применяется платина. В роли электролита будет выступать

гидроксид натрия (NaOH). Также будут рассматриваться возможности дополнительной модификации электрода для увеличения эффективности, в том числе за счет комбинации нескольких механизмов.

Человечество существенно изменило ландшафт планеты Земля, в том числе существенно исчерпало ископаемые топлива и подстегивает процесс глобального потепления. Например, на сегодня запасы угля в известных земных месторождениях составляет порядка 860 млрд тонн, что при нынешнем его использовании хватит примерно на 200 лет [20]. Нефть, являющаяся сырьём для производства бензина, имеет запасы примерно 1800 млрд баррелей, что при нынешнем его использовании, может хватить примерно на 60 лет. Запасы разведанных месторождений газа на данный момент оцениваются в 209 трлн кубометров, этого также хватит примерно на 60 лет. Более того, при сжигании данного вида сырья образуются различные газы, включая парниковые, такой как углекислый газ [20]. А при сжигании угля на ТЭС также образуются и радиационные выбросы, поскольку подземные угольные залежи содержат радионуклиды, такие как U^{238}, Th^{232}, Ra^{226}, Rn^{220}, K^{40}, все они выбрасываются в воздух в виде аэрозолей при сжигании угольного топлива, которые, распадаясь, испускают ионизирующее излучение и негативно влияют на здоровье человека [19]. Следовательно, нужно использовать топливо, которое будет иметь большое энерговыделение, которое будет дешёвым и не будет производить вредные газы при его использовании. Данным требованиям отвечает водородное топливо.

Несмотря на опасности, энергопотребление только растет, и единственным выходом представляется переход на экологически чистые источники энергии, включая атомную, солнечную, водородную энергетику. Водород представляет особый интерес, поскольку в результате его горения отходом является вода. «Большая часть водорода, производимого во всем мире, производится путем риформинга метана, в результате чего выбросы CO_2

составляют около 830 миллионов тонн в год».[1] Получение водорода из воды, напротив, позволяет реализовать полный замкнутый цикл без генерации дополнительных отходов.

Водородная энергетика – это перспективное направление, в котором энергия будет извлекаться при окислении водорода, с образованием водяного пара. Данное направление обладает большими преимуществами, такими как:

– большое удельное энерговыделение при сжигании водорода;
– большой коэффициент полезного действия (КПД);
– при окислении выделяется только водяной пар;
– довольно быстро можно перекачивать из одной ёмкости в другую;
– большой запас воды на земле, из которой получается водород;
– Замкнутый цикл производства и горения водорода.

Однако существуют и серьёзные недостатки, ограничивающие практическое применение водорода:

– взрывоопасность водорода при больших концентрациях;
– коррозия материалов, вызываемая данным газом;
– высокая проницаемость, а значит и сложности в хранении и транспортировке водорода.

Однако, если удастся их решить, потенциал для решения текущих проблем человечества огромен.

Существует несколько способов добычи водорода.

Первый способ – это получение водорода с помощью химической реакции металла и кислоты. Например, реакция цинка и серной кислоты приводит к образованию атомарного водорода:

$$H_2SO_4(разб) + Zn = ZnSO_4 + H_2, \quad (1)$$

Но данный газ можно получать и другими способами, такими как паровая конверсия метана, газификация угля, расщепление воды на отдельные атомы. Наиболее применяющимся из перечисленных способов является

[1] Hydrogen production from water: past and present

паровая конверсия метана, в силу наличия 4 атомов водорода на одну молекулу газа.

Газификация угля тоже приводит к образованию атомарного водорода с помощью водяного пара, данный способ является одним из наиболее старых, применялся с 1400 годов.

Все вышеперечисленные способы добычи водорода имеют существенный недостаток, а именно ограниченность ресурсов, которые в обозримом будущем могут полностью исчерпаться.

Однако, в данной работе будет рассматриваться способ производства водорода методом расщепления воды. Это может быть реализовано за счет электролиза, который заключается в использовании источника питания, двух электродов, воды, электролита. Один из электродов будет являться анодом, а другой – катодом. На аноде будет происходить реакция окисления кислорода, который будет выходить из раствора электролита. На катоде же будет восстанавливаться водород. Электролит необходим для образования ионов, которые будут являться переносчиками зарядов и замыкать электрическую цепь.

Расщеплять воду на составные элементы можно с помощью пропускания через стандартные металлические электроды, но так или иначе, при электролизе воды они будут очень быстро окисляться и выходить из строя, поэтому с помощью них производить большое количество водородного газа весьма проблематично. Данную проблему можно решить, используя такие благородные металлы, как платина, золото и другие. Они имеют отличные проводниковые свойства и не подвергаются коррозии со временем. Но они имеют очень высокую стоимость, следовательно, использовать их в промышленных масштабах нецелесообразно.

Следовательно, необходимо разработать и произвести такие электроды, которые будут иметь отличные электропроводящие свойства, долговечность в эксплуатации, низкую стоимость.

В данной работе предлагается рассмотреть получение электродов методом лазерной обработки наночастиц на ПЭТ, с образованием определённых химических структур, включая графен, и оценить их способность проводить ток через электролитный раствор.

Кроме того, данные технологии могут быть применены и в ядерной отрасли. Образовавшийся лазерно-индуцированный графен может быть окислен до оксида графена, который будет использоваться в качестве наножидкости в теплоносителе реактора для увеличения теплоотдачи от активной зоны реактора.

Цель работы: разработка и получение дешёвых стабильных высокоэффективных электродов методом лазерного облучения наночастиц на полиэтилентерефталате (ПЭТ).

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

– проведение обзора литературы;

– изготовление электродов, покрытых наночастицами металлов;

– сборка электролитической ячейки и проведение измерений;

– обработка полученных данных и определение электрохимической активности;

– дополнительная модификация электрода для увеличения эффективности.

1 Обзор литературы

1.1 Электролитическое расщепление воды

Проблема эффективного получения водорода с помощью электролизёра стоит давно. Ученые долго думают, как её решить, постоянно выдвигая всё новые предположения и гипотезы, ставя различные эксперименты, которые могут подтвердить или опровергнуть мысли ученых.

Электролиз воды, или разложение воды под действием электрического тока, происходит, когда в воду, содержащей раствор электролита, подаётся напряжение с помощью двух электродов: анода и катода.

На аноде будут происходить следующие химические реакции:

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-,$$

тогда на катоде протекают такие реакции:

$$4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2.$$[21]

Чистую воду непосредственно подвергать электролизу нельзя, поскольку её электропроводимость составляет 10^{-3} $ом^{-1} \cdot см^{-1}$ для воды водопроводного типа, а для деминерализованной – $4 \cdot 10^{-8}$ $ом^{-1} \cdot см^{-1}$.[21]

Помимо доступности, дешевизны и малой агрессивности, электролиты, применяемые для электролиза воды, должны иметь высокую электропроводность, чтобы снизить потери напряжения на преодоление омического сопротивления электролита в ячейке.

В зависимости от концентрации и температуры электролита, а также материалов электродов, может меняться протекание электродных процессов.

В целом, наиболее эффективная реакция расщепления воды на водород и кислород протекает на благородных металлах платиновой группы. Однако данные металлы очень редко встречаются на земле, а стоят они очень больших денег. Следовательно, необходимо найти более дешёвые альтернативы, которые не будут уступать вышеперечисленной группе металлов. Для достижения данной цели необходимо использовать именно те металлы, для

которых перенапряжение относительно водородного электрода будет минимальным. Данные о перенапряжениях различных металлов представлены в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Перенапряжения относительно водородного электрода

Электрод	Перенапряжение относительно RHE, В
Pb	1,05
Zn	0,83
C	0,65
Sn	0,63
Sr	0,63
Al	0,58
Cd	0,51
Cu	0,48
Ge	0,39
Fe	0,36
Mo	0,35
Ag	0,34
Co	0,32
Ni	0,30
W	0,26
Pt	0,07

Согласно данной таблице, наиболее выгодно использовать металл платину, но данный металл слишком дорогой и не сможет использоваться в промышленных масштабах. Следовательно, стоит обратить внимание на более дешёвые аналоги платины, у которых перенапряжение по водородному электроду всё ещё не очень высокое, например, вольфрам, кобальт или никель, данные материалы вселяют серьёзную надежду для образования из них высокоэффективного, стабильного и дешёвого электрода.

В одной из работ учёных удалось достичь эффективности немногим меньше, чем эффективность платины, с помощью такого материала, как сульфид молибдена. С помощью него удалось достичь точка 200 мА/см^2 при перенапряжении всего лишь – 0,2 В [23].

В других работах учёных тоже были достигнуты отличные результаты электрохимической активности материалов. Например, с помощью использования сразу нескольких веществ вместе, когда на углеродные волокна наносятся нанолисты кобальта, образуя форму нанотрубок, на которой располагаются наноточки диоксида титана, удалось достигнуть результата 200 мА/см^2 при перенапряжении -0,28 В [22]. Наноточки оксида титана способствуют адсорбции воды и увеличению контакта к кобальтовому электроду [22]. В любом случае, базовым требованием к материалу электрода является высокая электропроводность материалов. Далее можно модифицировать вещество тем или иным способом, которые будут способствовать увеличению реакции выделения водорода.

Наш метод включает в себя применение наночастиц, которые облучаются лазером определённой мощности, образуя таким образом проводящие материалы – электроды. Достоинство данного метода состоит в следующем, можно создавать проводящие материалы произвольной формы, это не требует каких-либо серьёзных затрат. Новизна нашего метода заключается в том, что с помощью лазерной гравировки наноматериалов можно получать высокопроводящие электроды, которые эффективно смогут расщеплять воду на водород и кислород.

1.1.2 Определение массы получаемого водорода при прохождении тока через электролит

Любой материал, над которым проводятся опыты и исследования, должен быть тщательно проанализирован на предмет тех или иных свойств, которые могут быть полезны для выполнения задач в тех или иных областях.

При этом он должен быть стабильным (не менять свойства в процессе его эксплуатации), и по возможности, иметь доступную цену, быть более дешёвым.

В данной работе для определения степени эффективности того или иного вещества, будет использована следующая методика:

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot z},$$

где I – сила тока, А;

m – масса образовавшегося вещества, г;

t – время прохождения тока, с;

M – молярная масса вещества, г/моль;

F – постоянная Фарадея, Кл·моль$^{-1}$

z – валентное число недостающих электронов.

По следующей формуле можно определять массу водорода, а зная затраченную электрическую энергию как $A=U \cdot I \cdot t$, зная удельную теплоту сгорания водорода из предыдущих работ (118,5 МДж/кг), можно определить КПД как отношение энергии, которая выделится при окислении водорода, к затраченной электрической энергии:

$$\eta = \frac{q \cdot m}{U \cdot I \cdot t},$$

где q – удельная теплота сгорания, Дж/кг;

U – подаваемое напряжение в водном растворе, В.

При этом, важно помнить, что сила тока прямо пропорционально зависит от площади электродов, поэтому будут сравниваться не сами токи, а плотности токов, измеряемых в А/см^2.

Немного преобразовав формулу с КПД, можно прийти к тому, что данная абсолютная величина зависит только от прилагаемого напряжения между анодом и катодом:

$$\eta = \frac{q \cdot I \cdot t \cdot M}{U \cdot I \cdot t \cdot F \cdot z}, \quad (6)$$

$$\eta = \frac{118500}{U \cdot 96500} = \frac{1,23}{U}$$

Для реакции расщепления воды на отдельные атомы, необходимо, чтобы электрон проходил через ускоряющую разность потенциалов в цепи 1,23 В, ускорялся до 1,23 эВ.

Выведенная формула показывает, что отношение энергии, которую можно получить при окислении водорода, к энергии, затрачиваемой при электролизе, в действительности зависит только от приложенного напряжения к аноду и катоду.

Следовательно, при увеличении напряжения будет увеличиваться прохождение электричества через цепь, а значит, и скорость выделяемого водорода, но при росте напряжения будет снижаться коэффициент полезного действия, что с точки зрения экономики нецелесообразно, поскольку будет сильно вырастать стоимость произведённого водорода.

Для увеличения КПД могут использоваться различные способы функционализации поврехности.

1.1.3 Фталоцианиновые металлы в качестве перспективных электрокатализаторов

Металлофталоцианины (MPc) используются во множестве применений благодаря их высокой химической и термической стабильности, проектируемой гибкости, разнообразным координационным свойствам, разнообразным альтернативам замещения и интересным электрохимическим свойствам. Их физико-химические свойства могут быть точно настроены путем изменения металла и природы заместителей. MPc доказали свою функциональность на модифицированных электродах, особенно для электрохромных устройств. Хорошо задокументировано, что фталоцианины являются уникальными макромолекулярными комплексами, которые катализируют многие целевые такие виды, как CO_2, CO и H^+, благодаря их богатому окислительно-восстановительному поведению.

В литературе имеется множество исследований, посвященных гомогенному катализу различных целевых соединений. Например, было сообщено о различных гомогенных катализаторах и заявили, что медленные и необратимые электрохимические процессы могут осуществляться с использованием двух концептуально различных типов механизмов. В одном случае “окислительно-восстановительный катализ”, активная форма катализатора, генерируемая на электроде, обменивается электронами с реагентом по принципу внешней сферы, образуя продукты реакции и регенерируя исходную форму катализатора. С другой стороны, «химический катализ» включает в себя временное образование аддукта между активной формой катализатора и реагентом. Хотя сообщалось о многих гетерогенных каталитических исследованиях OER и гомогенных каталитических исследованиях различных целевых веществ, исследования однородной электрокаталитической активности MPc для OER в апротонных растворителях встречаются редко. Также было сообщено о взаимодействии восстановленного фталоцианинового кобальта с кислородом и предположено, что каталитическая активность фталоцианинов достигается с помощью обычного регенеративного каталитического механизма. В одном из исследований проводилась проверка взаимодействия MPc с молекулярным кислородом с помощью вольтамперометрических и спектроэлектрохимических измерений.

Действительно, электрохимическое восстановление O_2 и H^+ является важной областью исследований, поскольку они являются двумя основными компонентами в применение альтернативных видов топлива. Было несколько сообщений о попытках разработать применение металлофталоцианиновых пленок для реакций выделения водорода (HER) и предложить лучшую альтернативу разработки эффективных и стабильных электрокатализаторов.

Хотя фталоцианины, несущие электронодонорные заместители, часто описывались, фталоцианины с группами, отводящими электроны, широко не изучались, особенно те, которые содержат атомы фтора. Недавно несколько

сотрудников сообщили о синтезе и свойствах фталоцианинов содержащие некоторые фторсодержащие заместители. Известно, что соединения фтора повышают растворимость фталоцианина в полярных, апротонных растворителях. Введение электроноакцепторных заместителей фтора во фталоцианины изменяет электрохимические свойства комплексов.

В некоторых исследованиях изучались вольтамперометрические, спектроэлектрохимические, электроколориметрические и электрокаталитические поведения различных комплексов MPc. В некоторых работах исследовалась электрокаталитическая активность пленок MPc для реакции выделения водорода (HER) выяснилось о сравнительных исследованиях этих химически модифицированных электродов в зависимости от методов формирования пленок MPc, pH среды и типы металлического центра и заместителей MPc. Результаты показали, что металлический центр, окружение заместителя и окислительно-восстановительные свойства MPc играют важную роль в электрокаталитической активности MPc. Таким образом, в настоящей работе сообщилось о вольтамперометрических, спектроэлектрохимических, электроколориметрических и электрокаталитических реакциях.

1.2 Фотоэлектрокаталитическое расщепление воды

Для увеличения эффективности процесса, нередко предлагается использовать фотоэлектрокаталитическое разложение воды.

Фотокаталитическое расщепление воды – это химическая реакция, используемой для разложения воды на водород и кислород. Фотокатализ – это ускорение химической реакции, обусловленное совместным действием фотокатализатора и солнечного излучения.

Для того, чтобы такая реакция могла протекать, необходимы следующие компоненты: фотокатализатор, солнечный свет, вода. Чтобы расщепить одну

молекулу воды на водород и кислород, необходимо ей сообщить энергию, равную 1,23 эВ (или $2 \cdot 10^{-19}$ Дж). Это соответствует длине волны излучения:

$$\lambda = \frac{hc}{E_{ф}} = 1010 нм,$$

данная длина волны соответствует инфракрасному спектру излучения [1]. Данное значение верно при стандартных температуре и давлении, и полностью обратимой реакции. Кроме того, ширина запрещённой зоны фотокатализатора также должна быть 1,23 эВ (или больше) [1]. При таких параметрах системы выработки водорода реакция происходить будет, но скорость получения водорода будет крайне низкой. Чтобы повысить эффективность данной системы, следует увеличить ширину запрещённой зоны до 1,6 эВ (оптимальные пределы ширины запрещённой зоны составляют от 1,5 до 1,7 эВ), увеличить интенсивность излучения, насколько это возможно, подобрать такой фотокатализатор, который при этом хорошо поглощает свет, уменьшить длину волны излучения, чтобы повысить энергию фотонов. На рисунке 1.1 показана схема получения водорода методом фотокаталитического расщепления воды: фотокатализатор является полупроводником. Чтобы произошла реакция, электрону необходимо перепрыгнуть из зоны валентности в зону проводимости через запрещённую зону. В таком случае в зоне проводимости окажется электрон, а в валентной зоне – электронная дырка. Дырки рассматриваются как положительно заряженные частицы. Если электроны и дырки успеют переместиться к поверхности полупроводника до того, как произойдёт рекомбинация, электрон восстановит водород до нейтрального заряда, а дырка окислит кислород до нулевого заряда [18].

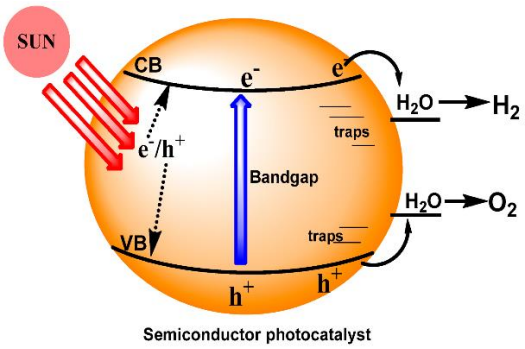

Рисунок 1.1 – схема получения водорода путём фотокатализа [18]

Немаловажным фактором эффективности получения водорода фотокаталитическим методом является не только ширина запрещённой зоны у полупроводников, но и расположение границ этой зоны. Если запрещённая зона будет расположена в более высоких энергиях, то и шанс успешного образования водорода из воды также будет выше, поскольку будет более высокая энергия у электрона, следовательно, он будет перемещаться по полупроводнику быстрее. (рисунок 1.2) [2]. Но также важно, что валентная зона не должна находиться слишком далеко в области отрицательных энергий (должна находиться ниже, чем уровень энергии, равный 1,23 эВ), чтобы можно было окислять кислород.

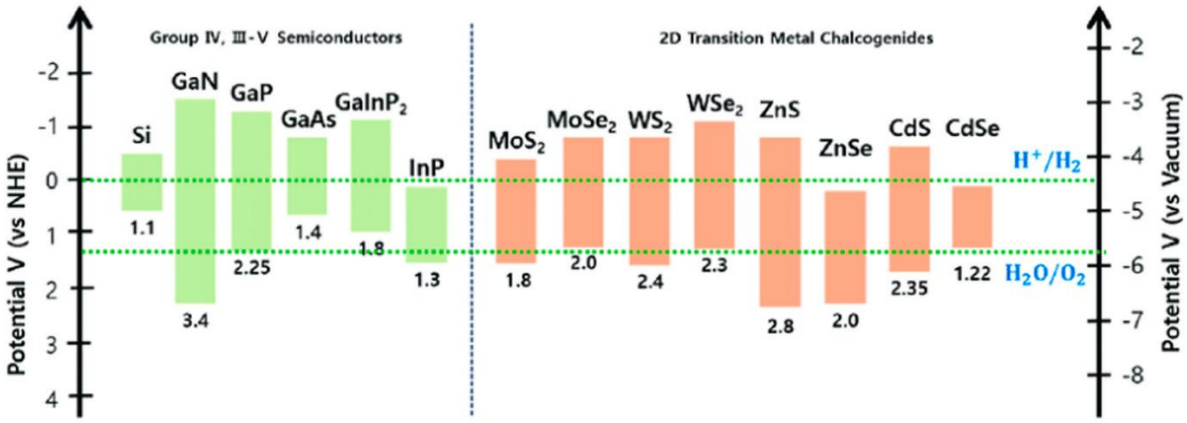

Рисунок 1.2 – график расположения электронных зон у фотокатализаторов [2]

1.2.1 Рассмотрение нитрида углерода как перспективного фотокаталитического материала для получения водорода

В данной работе будет рассмотрен конкретный материал для получения водорода под действием света – нитрид углерода, химическая формула которого известна как C_3N_4. Применяться он может как в электронике, так и для проведения фотокаталитических процессов.

Данный вид материала обладает следующими свойствами, которые напрямую влияют на эффективность получения водорода:

– ширина запрещённой зоны равна 2,7 эВ;

– зона проводимости расположена на уровне энергии -1,1 эВ;

– валентная зона расположена на уровне энергии 1,6 эВ соответственно;

– обладает термической стабильностью даже при температуре порядка 600 °C [10].

За счёт того, что данное вещество состоит из двух химических элементов, распространённых на Земле, его можно довольно просто и дёшево приготавливать. Свойства данного вещества могут легко регулироваться без существенного изменения общего состава.

Нитрид углерода может быть получен за счёт термической конденсации цианамида, меламина, тиомочевины, мочевины, дициандиамида.

Спектры диффузионного отражения в ультрафиолетовом диапазоне используются для оценки запрещённых зон.

$$E_g = \frac{1240}{\lambda},$$

где λ – край полосы поглощения данного образца (в нм).

Регулировка запрещённой зоны может быть проведена при изменении соотношения C/N методом получения нитрида углерода при определённых температурах. Один из примеров – по мере увеличения температуры с 500 °C

до 580 °C для конденсации C_3N_4, соотношение C/N вырастает с 0,721 до 0,742, а ширина запрещённой зоны E_g падает с 2,8 до 2,75 эВ [10].

Мочевина является отличным предшественником для получения C_3N_4 с высокой удельной площадью, порядка 288 м^2/г, а толщиной – 16 нм. Нитрид углерода, полученный из мочевины, может иметь ширину запрещённой зоны, приблизительно равную 2,58 эВ. Нужно стремиться к повышению удельной площади материалов, для этого следует избегать слоистых укладок. Для этого вещество нужно отшелушивать растворителем (например, спиртом) и ультразвуком. За счёт этого толщина нанослоя может достигать 2 нм, что необходимо для достижения более высокой удельной площади и как следствие, снижается сопротивление переноса электронов и скорость рекомбинации электронно-дырочных пар [10].

Также желательно получать пористые структуры нитрида углерода, чтобы повысить площадь контакта, а чем выше площадь контакта с водой – тем выше эффективность получения водорода из воды. Для настройки пористости используются методы шаблонизации. Наибольшая удельная площадь – 230 м^2/г была получена для образца, имеющего площадь 16 нм [10].

Другой вариант – получение полых сфер для повышения эффективности получения водорода затруднено из-за разрушений структуры во время обработки. Толщина оболочки полых сфер варьируется от 56 до 85 нм путём изменения толщины оболочек из мезопористого диоксида кремния. Полые сферы отлично собирают свет за счёт отражений внутри полой структуры и таким образом производится больше фотоиндуцированных зарядов [10].

Путём настройки длины стержня, диаметра, соотношения сторон и др. могут быть достигнуты уникальные химические, оптические, электронные свойства. Таким образом, могут быть настроены те или иные свойства нитрида углерода под заданную цель [10].

1.2.2 Управление запрещённой зоной C_3N_4

Основные стратегии управления зонной структурой C_3N_4 действуют на атомном уровне (элементное легирование) и на молекулярном уровне (сополимеризация). Для определения ширины запрещённой зоны обычно используются спектры поглощения в УФ-диапазоне. В то же время, для исследования валентной зоны применяется рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) и УФ фотоэлектронная спектроскопия (UPS) [10].

Элементное легирование C_3N_4 – один из способов регулирования запрещённой зоны. Разделяется оно на неметаллическое легирование и металлическое [10].

Неметаллическое легирование обычно применяется для снижения энергии зоны проводимости, тем самым сужается запрещённая зона химического соединения. Например, если атомы серы заместят углерод, тогда снизится энергия зоны проводимости. Кроме того, легирование фтором приводит к появлению связи *C-F* в молекуле *CN,* что приводит к уменьшению ширины запрещённой зоны. Легирование бором также несколько снижает ширину полупроводника [10].

Металлическое легирование используется для модификации электронной структуры нитрида углерода. Например, включение компонентов переходных металлов, таких как Fe^{3+}, Mn^{3+}, Co^{3+}, Ni^{3+}, Cu^{2+} и др. В каркасе они могут использоваться для увеличения поглощения света на более длинных волнах и снижения рекомбинации фотосгенерированных электронов и дырок [10].

Металлическое легирование используется для модификации электронной структуры нитрида углерода. Например, включение компонентов переходных металлов, таких как Fe^{3+}, Mn^{3+}, Co^{3+}, Ni^{3+}, Cu^{2+} и др. В каркасе они могут использоваться для увеличения поглощения света на более длинных волнах и снижения рекомбинации фотосгенерированных электронов и дырок [10].

Нитрид углерода, модифицированный посредством сополимеризации дициандиамида с некоторым количеством барбитуровой кислоты, меняет ширину запрещённой зоны с 2,67 эВ до 1,58 эВ [10].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А93	Бисярин Никита Сергеевич

Школа	ИЯТШ	**Отделение школы (НОЦ)**	**ОЯТЦ**
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	Ядерная физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	*Бюджет проекта – не более 1510402 руб., в т.ч.* *Материальные затраты – 72530 руб.* *Затраты на специальное оборудование – 987000 руб.* *Заработная плата исполнителей – 172431 руб.* *Отчисления во внебюджетные фонды – 59463 руб.* *Накладные расходы – 199351 руб.*
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	*Значение показателя интегральной ресурсоэффективности не менее 3,7 балла*
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	*Размер отчислений во внебюджетные фонды – 30%*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	*Оценочная карта конкурентных технических решений. SWOT-анализ.*
2 .Планирование и формирование бюджета научных исследований	*Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.*
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	*Интегральный финансовый показатель* *Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*:	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений *2. Матрица SWOT* *3. Альтернативы проведения НИ* *4. График проведения и бюджет НИ* *5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Бисярин Никита Сергеевич		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабами работы и его ценностью, но и коммерческой ценностью исследования. Оценка коммерческой ценности исследовательской работы является необходимым условием при поиске финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

– оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;

– определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

– планирование научно-исследовательской работ;

– определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

3.2 Анализ исследовательской работы

Разработка НИ производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная работа заключается в исследовании способности материалов к расщеплению воды на водород и кислород с помощью пропускания тока через воду.

3.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе выполнения данной работы были разработаны и проанализированы электроды, с помощью которых можно будет расщеплять воду водород

В результате проведённых исследований стало возможным производство высокоэффективных, стабильных и дешёвых электродов, с помощью лазерных технологий.

Целевым рынком данного исследования будут являться различные конструкторские бюро, работающие в сфере водородной энергетики, а также различные смежные научные учреждения.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования водорода. Результаты сегментирования представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка

		Электрод, эффективно расщепляющий воду на водород	
		Химическая промышленность	**Водородный транспорт**
Потребность	**Сильная**		
	Слабая		

По итогам составления карты сегментирования Российского рынка, элементов, производящих водород видно, что интерес к электродам для расщепления воды преобладает в химической промышленности, но в то же время водородопроизводящие устройства востребованы и для водородного транспорта.

3.2.2 Анализ конкурентных технических решений

Объект исследования – электрохимическая активность электрода, покрытого наночастицами определённого металла.

Главная отличительная черта данного решения – эффективное и дешёвое получение водорода под действием электрического тока. К преимуществам данного решения можно отнести:

– эффективное получение водорода под действием электрического тока;

– дешевизна электрода;

– стабильность электрода;

К недостаткам данной установки можно отнести:

– сложность в хранении водородного топлива;

– опасность взрыва водорода.

Данный анализ удобнее проводить с помощью оценочной карты, показанной в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		$Б_А$	$Б_Б$	$Б_В$	$Б_Г$	$К_А$	$К_Б$	$К_В$	$К_Г$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Стабильность электрода	0,3	1	5	5	5	0,3	1,5	1,5	1,5
2. Простота изготовления электрода	0,05	2	5	5	5	0,1	0,25	0,25	0,25
3. Эффективность получения H_2	0,35	5	3	2	1	1,75	1,05	0,7	0,35
4. Стоимость электрода	0,05	2	1	5	4	0,1	0,05	0,25	0,2
5. Безопасность при изготовлении электрода	0,05	4	4	5	5	0,2	0,2	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности									
6. Цена	0,1	3	3	5	4	0,3	0,3	0,5	0,4
7.Конкурентоспособность	0,1	5	4	2	1	0,5	0,4	0,2	0,1
Итого	1	22	25	29	25	3,25	3,65	3,65	3,05

где $Б_А$ – электрод на основе никелевых наночастиц

$Б_Б$ – электрод на основе медных наночастиц

$Б_В$ – электрод на основе оловянных наночастиц

$Б_Г$ – электрод на основе алюминиевых наночастиц

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$К = \sum В_i \times Б_i$$

где К – конкурентоспособность вида;

$В_i$– вес критерия (в долях единицы);

$Б_i$ – балл i-го показателя.

По данным оценочной карты можно увидеть, что для повышения конкурентоспособности с минимальными издержками более эффективно

использовать электрод с покрытием медных наночастиц, а также с покрытием оловянных наночастиц.

3.2.3 SWOT – анализ

На начальном этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, а также угрозы и возможности.

Ниже представлена матрица SWOT – анализа проекта (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Swot анализ

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Постоянное изучение и модернизация метода; С2. Описанные выше методы несут в себе высокую эффективность и экономичность; С3. Актуальность и новизна данного метода; С4. Наличие опытной группы и руководителя; С5. Использование неисчерпаемого ресурса (воды).	В1. Запрос на применения данного метода в России и за рубежом; В2. Много зарубежных научных журналов, интересующихся данной тематикой В3. Возможность адаптации научного исследования под нужды иностранных компаний. В4. Проведение конкурсов на гранты подобных исследований
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Несмотря на высокую эффективность и экономичность, данный метод также имеет ряд серьёзных проблем при его реализации; Сл2. Дороговизна и сложность оборудования для проведения исследований и экспериментов Сл3. Используемые вещества могут таить в себе серьёзную опасность для здоровья персонала. Сл4. Существенные временные и интеллектуальные затраты.	У1. Нехватка финансирования У2. Смена трендов развития в мире У3. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон угрозам исследовательского проекта построена интерактивная матрица. Каждый фактор помечается либо знаком «+», что означает сильное соответствие

сторон возможностям или угрозам, либо знаком «-»; «0» – если оценка значимости влияния фактора затруднительна (таблица 3.4 и 3.5)

Таблица 3.4 – Матрица соответствия возможностям

	С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
В1	+	+	+	-	+	+	+	+	-
В2	+	+	+	+	+	-	-	-	-
В3	-	0	0	+	0	-	-	-	+
В4	0	+	+	0	+	-	-	-	0

Таблица 3.5 – Матрица соответствия угрозам

	С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
У1	+	+	-	-	0	-	-	-	-
У2	-	-	-	-	+	-	-	-	-
У3	+	+	0	-	+	+	+	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей

- В1В2В4С2С3С5; В1В2С1; В2В3С4;
- В1Сл1Сл2Сл3; В3Сл4;
- У1У3С1С2; У2У3С5;
- У3Сл1Сл2.

На третьем этапе составляется итоговая таблица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	С1. Постоянное изучение и модернизация метода; С2. Описанные выше методы несут в себе высокую эффективность и экономичность; С3. Актуальность и новизна данного метода; С4. Наличие опытной группы и руководителя; С5. Использование неисчерпаемого ресурса (воды)	Сл1. Несмотря на высокую эффективность и экономичность, данный метод также имеет ряд серьёзных проблем при его реализации; Сл2. Дороговизна и сложность оборудования для проведения исследований и экспериментов Сл3. Используемые вещества могут таить в себе серьёзную опасность для здоровья персонала. Сл4. Существенные временные и интеллектуальные затраты.
В1. Огромный потенциал применения данного метода в России и за рубежом; В2. Много зарубежных научных журналов, интересующихся данной тематикой В3. Возможность адаптации научного исследования под нужды иностранных компаний. В4. Участие в конкурсах на гранты подобных исследований	Огромный потенциал применения метода в России и других странах способствует дальнейшему развитию и доработке методов получения водорода из воды.	Для данных методов требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, способных безопасно обращаться с материалами, несущие высокую опасность. А также наличие альтернативных решений, удешевляющих

Продолжение таблицы 3.6

У1. Нехватка финансирования У2. Смена трендов развития в мире У3. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения	Нехватка финансирование, отсутствие спроса негативно влияют на актуальность и технологичность методов.	Наиболее серьёзной угрозой проекта является нехватка финансирования в силу использования дорогостоящего оборудования

По результатам анализа, следует отметить, что сильные стороны в целом соответствуют заявленным возможностям. Наиболее серьёзной угрозой относится нехватка финансирования в силу использования дорогостоящего оборудования. В таком случае это может быть решено заменой более дешёвых аналогов оборудования, чтобы не сокращать возможности проведения исследований.

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования сформирована специальная группа из 2 человек: руководителя и бакалавра. В таблице 3.7 подробно расписаны типы работ и основные этапы, а также ответственные за их исполнение.

Таблица 3.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель

Продолжение таблицы 3.7

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	2	Выбор темы исследований	Студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка методики расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	Студент
	6	Разработка методики получения электродов с применением металлических наночастиц	Студент
	7	Создание процесса расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	Студент

Продолжение 3.7

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Студент, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	9		Студент

3.3.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты являются одним из ключевых факторов в ценообразовании научной разработки, следовательно, важным элементом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях. В силу того, что трудоёмкость зависит от множества факторов, учесть которые все сразу практически невозможно, вводится понятие ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости, которая может быть найдена по следующей формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (3.1)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i-ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы, чел.дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы, чел.дн.;

Исходя от трудоёмкости выполнения каждой из работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_р$, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Определение продолжительности работ необходимо для расчёта заработной платы, ведь в

общей стоимости научного исследования удельный вес зарплаты составляет порядка 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (3.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.

График проведения научного исследования будет строиться по типу диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором продолжительность работ представляется в виде временных отрезков.

Для удобства построения данного графика, длительность каждого из этапов работ следует перевести в календарные дни. Для этого будет использована следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (3.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i-й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i-й работы в рабочих днях;

$K_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})}, \quad (3.4)$$

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

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

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

Расчет коэффициента календарности: в 2023 году всего было 365 дней, из которых 114 были нерабочими (100 дней были выходными, а 14 дней –

праздничными). Зная данные параметры, можно рассчитать коэффициент календарности:

$$K_{кал} = \frac{365}{365 - (100 + 14)} = 1,45$$

В таблице 3.8 представлены временные затраты и трудоёмкость каждой из работ (в том числе в зависимости от конкретного выбранного варианта научного исследования).

Имеется всего 4 варианта исполнения исследовательских работ. В исполнении 1 будет проводиться работа по исследованию наночастиц никеля, в исполнении 2 – исследование наночастиц меди, исполнение 3 – наночастицы олова, исполнение 4 – наночастицы алюминия.

Таблица 3.8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ												Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}				Длительность работ в календарных днях T_{ki}			
	T_{min}, чел-дни				T_{max}, чел-дни				$T_{ож}$, чел-дни					Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп. 4
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп. 4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4									
Выбор темы НИР	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	Студент	1	1	1	1	1	1	1	1
Составление и утверждение плана работ	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	Руководитель	2	2	2	2	2	2	2	2
Выбор направления исследования	3	3	3	3	5	5	5	5	3,8	3,8	3,8	3,8	Студент,	4	4	4	4	5	5	5	5
Календарное планирование работ	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5		1,2	1,2	1,2		Студент, руководитель	1	1	1	1	1	1	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	17	15	16	16	24	23	26	26	19,8	18,2	18,8	18,8	Студент	20	18	19	19	29	27	28	28

Продолжение таблицы 3.8

Название работы	Трудоёмкость работ												Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}				Длительность работ в календарных днях T_{ki}			
	T_{min}, чел-дни				T_{max}, чел-дни				$T_{ож}$, чел-дни					Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 4	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 4
	Исп.1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 4	Исп. 1	Исп.2	Исп.3	Исп. 4	Исп.1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 4									
Разработка методики расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	13,4	13,9	13	13,9	24,9	25,5	25,6	25,5	18	18,5	18	18,5	Студент	18	19	18	19	26	27	25	27
Создание процесса расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	7	6	7	7	17	18	18,5	17	11	10,8	11,6	11	Студент	11	11	12	11	16	17	18	16
Анализ полученных результатов	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	Студент, руководитель	1	1	1	1	1	1	1	1
Оформление НИР	4	4	4	4	5	5	5	5	4,4	4,4	4,4	4,4	Студент	4	4	4	4	6	6	6	6

На основе таблицы 3.8 построен календарный план-график, в котором представлен календарный план выполнения всех работ. Чтобы построить таблицу временных показателей научного исследования, был рассчитан коэффициент календарности. Для иллюстрации календарного плана используется диаграмма Ганта (в таблице 3.9), указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

Таблица 3.9 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				февраль		март			апрель			май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор темы НИР	Ст	2											
2	Составление и утверждение плана работ	Р	1											
3	Выбор направления исследования	Ст	5											
4	Календарное планирование работ	Ст, р	1											
5	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	29											

Продолжение таблицы 3.9

№ ра-боты	Вид работ	Испол-нители	T_{ki}, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				февраль		март			апрель			май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
6	Разработка методики расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	Ст	26											
7	Создание процесса расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	Ст	16											
8	Анализ полученных результатов	Ст, р	1											
9	Оформление отчёта НИР	Ст	6											

– студент; – научный руководитель

3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты.
2. Затраты на спец.оборудование.
3. Основная и дополнительная ЗП.

4. Социальные отчисления.
5. Прямые затраты.
6. Накладные расходы.

3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научно-технического исследования, должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчёт материальных затрат производится по следующей формуле:

$$З_М = (1 + k_Т) \cdot \sum_{i=1}^{m} Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (3.5)$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, и др.)

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб/шт., руб/кг, и др.)

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

Материальные затраты, необходимые для реализация исследовательского проекта,представлены в таблице 3.10

Таблица 3.10 – Материальные затраты

Наименование	Ед. из-ния	Количество				Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.			
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Тетрадь для записей	шт	1	1	1	1	75	75	75	75	75

Продолжение таблицы 3.10

Наименование	Ед. из-ния	Количество				Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.			
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Ручка	шт	1	1	1	1	50	50	50	50	50
Вещество Ni	г	5	-	-	-	7785	38925	-	-	-
Вещество NaOH	г	40	40	40	40	1,75	70	70	70	70
Вещество Al	г	-	5	-	-	213	-	1065,75	-	-
Вещество Cu	г	-	-	5	-	9014,8	-	-	45074	-
Вещество Sn	г	-	-	-	5	200	-	-	-	1000
Электроэнергия	квт·ч	5	5	5	5	3,85	19,25	19,25	19,25	19,25
Платина	шт	1	1	1	1	25400	25400	25400	25400	25400
Серебро	шт	1	1	1	1	1809	1809	1809	1809	1809
Итого							66273	28414	72422	28348

Общие материальные затраты первого исполнения составили 66379 рублей. Наиболее экономичным вариантом является исполнение 4 с затратами на сумму 28348 руб.

3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Сюда включаются все затраты, связанные с приобретением или аренды на некоторый срок специального оборудования, необходимого для исследовательских работ (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по заданной теме. Определение стоимости оборудования производится по действующим ценам. Также в стоимость будет учитываться доставка и монтаж оборудования (если это необходимо). Расчёт затрат по данной статье представлен в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество				Цена за ед., тыс руб.	Затраты на материалы (Зм) тыс. руб.			
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Ноутбук	Шт.	1	1	1	1	70	70	70	70	70
Программное обеспечение для управления потенциостатом	Шт.	1	1	1	1	3	3	3	3	3
Программное обеспечение для управления лазером	Шт.	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Программное обеспечение для оформления отчёта	Шт.	1	1	1	1	6	6	6	6	6
Потенциостат	Шт.	1	1	1	1	898	898	898	898	898
Источник света (лазер)	Шт.	1	1	1	1	5	5	5	5	5
Весы	Шт.	1	1	1	1	3	3	3	3	3
Итого, руб.							987	987	987	987

Общие затраты на специальное оборудование составили 987 тыс. рублей.

3.4.3 Основная заработная плата исполнителя темы.

В данную статью включается основная заработная плата научных, инженерно-технических и прочих работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоёмкости выполняемых работ, а также действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, ежемесячно выплачиваемая из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – заработные платы исполнителей

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоёмкость, чел.-дн.				Заработная плата, приходящаяся на один чел-дн., тыс. руб.				Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.			
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
1.	Выбор темы НИР	Р	1	1	1	1	5,9				5,9	5,9	5,9	5,9
2.	Составление и утверждение плана работ	Ст	2	2	2	2	2,2				4,4	4,4	4,4	4,4
3.	Выбор направления исследования	Ст,	4	4	4	4	2,2				8,8	8,8	8,8	8,8
4.	Календарное планирование работ	Ст, р	1	1	1	1	8,1				8,1	8,1	8,1	8,1
5.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	22	18	18	19	2,2				48,4	39,6	39,6	41,8
6.	Разработка методики расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	Ст	20	19	19	18	2,2				44	41,8	41,8	39,6

Продолжение таблицы 3.12

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоёмкость, чел.-дн.				Заработная плата, приходящаяся на один чел-дн., тыс. руб.				Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.			
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
7.	Создание процесса расщепления воды под действием электрического тока с целью получения водорода	Ст	15	11	11	12	2,2				33	24,2	24,2	26,4
8.	Анализ полученных результатов	Ст, р	1	1	1	1	8,1				8,1	8,1	8,1	8,1
9.	Оформление отчёта НИР	Ст	4	4	4	4	2,2				8,8	8,8	8,8	8,8
Итого											169,5	149,7	149,7	151,9

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно занятых над выполнением проекта (с премиями и доплатами), а также дополнительная заработная плата, рассчитываемая по формуле:

$$З_{зп}=З_{осн}+З_{доп}, \quad (3.6)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12–20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_{р}, \quad (3.7)$$

где $З_{осн}$– основная заработная плата одного работника;

$Т_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн}=\frac{З_{М} \cdot М}{F_{д}}, \quad (3.8)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М = 11,2 месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М = 10,4 месяца, 6–дневная неделя;

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

Таблица 3.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней выполнения проекта	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	114	114
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	 48 0	 72 0

Продолжение таблицы 3.13

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Действительный годовой фонд рабочего времени	203	179

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$З_м = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_д) \cdot k_р, \quad (3.9)$$

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

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

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,4

$k_р$ – районный коэффициент, равный 1,3

Тарифный коэффициент kт для Р = 1,866; для Ст = 1,407.

Расчёт основной заработной платы представлен в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	kт	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_д$	$k_р$	$З_м$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$Т_р$, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	Профессор, доктор химических наук	1,866	52740	0,3	0,4	1,3	116555	5971	3	17913
Студент	инженер	1,407	19200	0,3	0,4	1,3	42342	2271	68	154471
Итого										172341

3.4.4 Расчёт дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчёт дополнительной заработной платы производится по формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (3.10)$$

Где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данном разделе расходов учитываются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определятся по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов, равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Отчисления во внебюджетные формы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.				Дополнительная заработная плата, руб.			
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Руководитель проекта	17913	17913	17913	17913	2687	2687	2687	2687
Студент	154471	133989	133989	136260	23171	20098	20098	20439
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3							
Итого								
Исполнение 1	59473							
Исполнение 2	52406							
Исполнение 3	52406							
Исполнение 4	53190							

3.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется формулой:

$$З_{накл} = (\sum статей) \cdot k_{нр}, \quad (3.12)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов возьмём равной 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$З_{наклад1} = (66379 + 987000 + 17913 + 154471 + 2687 + 23171 + 59473) \cdot 0{,}16 = 209775$$

руб.

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$З_{наклад2} = (28522 + 987000 + 17913 + 133989 + 2687 + 20098 + 52406) \cdot 0{,}16 = 198814$$

руб.

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$З_{наклад3} = (72530 + 987000 + 17913 + 133989 + 2687 + 20098 + 52406) \cdot 0{,}16 = 205860 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 4 составили:

$$З_{наклад4} = (28456 + 987000 + 17913 + 136260 + 2687 + 20439 + 53190) \cdot 0{,}16 = 199351$$

руб.

3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект представлено в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.				Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	
Материальные затраты НТИ	66379	28522	72530	28456	Пункт 3.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	987000	987000	987000	987000	Пункт 3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	172341	151902	151902	154173	Пункт 3.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25858	22785	22785	23126	Пункт 3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	59473	52406	52406	53190	Пункт 3.5
Накладные расходы	199351	198814	205860	199351	Пункт 3.6
Бюджет затрат НТИ	1510402	1441429	1492303	1445296	

Согласно таблице 15 несмотря на то, что наиболее экономичным решением, с результатом в 1,441 млн рублей является исполнение 2, в целом затраты в зависимости от выбранного конкретного исполнения остаются примерно одинаковыми, порядка 1,5 млн руб.

3.4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической 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 определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (3.13)$$

Где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.i}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = \frac{1510402}{1510402} = 1$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{1441429}{1510402} = 0,954$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}} = \frac{1492303}{1510402} = 0,988$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.4}} = \frac{1445296}{1510402} = 0,957$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно записать следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot b_i, \quad (3.14)$$

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 путём по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 3.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Эффективность	0,3	5	4	3	2
Стабильность	0,3	2	5	5	5
Дешевизна	0,2	3	5	3	5
Материалоёмкость	0,2	5	5	5	5

$$I_{\text{р-исп1}} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 3,7$$
$$I_{\text{р-исп2}} = 0,3 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,7$$
$$I_{\text{р-исп3}} = 0,3 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 3,8$$
$$I_{\text{р-исп4}} = 0,3 \cdot 2 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов разработки ($I_{\text{испi}}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}}} = \frac{3,7}{1} = 3,7$$
$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4,7}{0,954} = 4,93$$
$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}}} = \frac{3,8}{0,988} = 3,85$$
$$I_{\text{исп4}} = \frac{I_{\text{р-исп4}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4,1}{0,957} = 4,28$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($Э_{ср}$):

$$Э_{ср} = \frac{I_{испi}}{I_{исп2}}, \quad (3.15)$$

Таблица 3.18 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,954	0,988	0,957
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,7	4,7	3,8	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	3,7	4,93	3,85	4,28
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,751	1	0,781	0,868

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реазилация технологии во втором исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

3.4.9 Заключение

В ходе выполнения курсового проекта проведена экономическая оценка исследовательского проекта «исследование электрохимической активности электрода с покрытием наночастицами металлов».

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

1. Проведён анализ коммерческого потенциала исследовательской работы, SWOT-анализ;

2. Построен график Ганта, определены этапы и количество работ, определены трудоёмкости работ. Общая продолжительность исследовательской работы составляет 87 дней;

3. Сформирован бюджет исследовательского проекта, включающий материальные затраты, затраты на специальное оборудование, накладные расходы, заработные платы и отчисления во внебюджетные формы. Итоговый бюджет расходов составляет порядка 1 500 000 рублей (от 1 441 429 до 1 510 402 в зависимости от исполнения).