



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 Физика

ООП/ОПОП Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Изучение влияния содержания никеля и никель-хрома на накопление водорода в композитах на основе гидрида магния

УДК 621.763:669.721:669.788.081.5

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кенжиев Алан Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
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 реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
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 применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Склярова Е. А.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0Б91	Кенжиев Алан Александрович

Тема работы:

Изучение влияния содержания никеля и никель-хрома на накопление водорода в композитах на основе гидрида магния	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 307-1/од от 03.11.2022

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Композиты на основе мелкодисперсных порошков из гидрида магния с каталитической добавкой никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор источников литературы; – Получение активированного магния при помощи механосинтеза; – Определение фазового состава полученного композита;

задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	<ul style="list-style-type: none"> – Получение микроснимков СЭМ и ЭДС распределение по элементам; – Анализ массового содержания водорода в композитах; – Определение температуры десорбции композита; – Анализ полученных результатов; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Социальная ответственность; – Заключение.
--	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кенжиев Алан Александрович		



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
0Б91	Кенжиев Алан Александрович

Тема работы:

Изучение влияния содержания никеля и никель-хрома на накопление водорода в композитах на основе гидрида магния
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.09.2022	Аналитический обзор литературы	5
20.11.2022	Планирование эксперимента	5
20.03.2023	Получение гидрида магния с помощью механосинтеза и установки Gas Reaction Controller	10
28.03.2023	Получение композитов на основе гидрида магния с добавлением порошков: никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома	15
10.04.2023	Определение фазового состава полученных композитов	10
15.04.2023	Определение температуры десорбции композитов	10
30.04.2023	Анализ полученных результатов	15
14.05.2023	Социальная ответственность	10
20.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
24.05.2023	Заключение	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кудияров В.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кенжиев А.А.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 109 с., 28 рисунков, 32 таблицы, 75 источников литературы, 0 приложений.

Ключевые слова: гидриды металлов, водородная энергетика, механосинтез, никель, материалы накопителя, наноразмерные металлические порошки.

Объектом исследования являются: композиты на основе мелкодисперсных порошков гидрида магния с добавками мелкодисперсных порошков: никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома.

Цель работы: получение и исследование композитов гидрида магния с каталитическими добавками мелкодисперсных порошков: никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома на накопление водорода.

В процессе исследования проводились: анализ содержания водорода, ЭДС картированное распределение элементов, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ состава образцов, термостимулированная десорбция, термогравиметрический анализ, БЭТ анализ, расчет энергии активации по методу Киссинджера.

Область применения: водородная энергетика, лабораторные исследования, топливные элементы

Экономическая эффективность/значимость работы: заключается в исследовании и использовании полученных результатов для реализации промышленного производства композитов на основе гидрида магния для транспортировки водородного топлива в связанном безопасном состоянии с целью дальнейшего использования в сферах транспорта, авиации, железной дороги.

Оглавление

Реферат	8
Введение.....	12
Глава 1. Литературный обзор.....	14
1.1 Взаимодействие магния с водородом	14
1.2 Роль каталитических добавок в кинетике десорбции водорода	16
1.3 Влияние каталитического добавления никеля на взаимодействие магния с водородом	19
1.4 Получение наноразмерных порошков никеля и никель-хрома при помощи технологии электрического взрыва проводов.....	23
1.4.1 Технология электрического взрыва проводов для производства нанометаллов	24
1.4.2 Физика процесса электрического взрыва проводов	25
Глава 2. Материалы и методы.....	28
2.1 Материалы исследования.....	28
2.1.1 Получение порошков металлов	30
2.2 Устройство планетарной шаровой мельницы.....	32
2.3 Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	32
2.4 Анализатор водорода RHEN-602.....	34
2.5 Термодесорбционная спектроскопия.....	36
2.6 Метод рентгеноструктурного анализа порошков.....	40
2.7 Растровая электронная микроскопия	41
2.7.1 Энергодисперсионный анализ	42
2.7.2 Картирование процесса	44
2.8 Термогравиметрический анализ	47

2.9	Метод математического описания физической адсорбции	48
Глава 3. Результаты и обработка результатов.....		53
3.1	Анализ морфологии, микроструктуры и элементного состава композитов.....	53
3.2	Рентгенофазовый анализ.....	57
3.3	ВЕТ-анализ	58
3.4	Термогравиметрический анализ.....	59
3.5	Термостимулированная десорбция	61
3.6	Расчёт энергии активации	62
3.7	Результаты исследования	64
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....		67
4.1	Потенциальные потребители данного исследования	67
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	67
4.1.3	SWOT-анализ.....	69
4.3	Планирование научно-исследовательских работ.....	74
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, эффективности исследования	83
Глава 5. Социальная ответственность.....		87
5.1	Введение.....	87
5.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	87
5.2.1	Правовые норма трудового законодательства.....	87
5.2.2	Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	88

5.2.3 Методические рекомендации при работе в аналитических лабораториях	89
5.3 Производственная безопасность	90
5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	90
5.3.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.....	91
5.3.3 Производственный фактор, связанный с веществами, представляющими опасность при аспирации (мелкодисперсные порошки)	92
5.3.4 Производственный фактор, связанный с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (работа с мелкодисперсными порошками).....	92
5.3.5 Производственные факторы связанные с акустическим колебаниями в производственной среде	93
5.3.6 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения	94
5.4 Экологическая безопасность.....	95
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
5.5.1 Анализ возможных ЧС	96
5.5.2 Наиболее вероятная ЧС	97
5.6 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	98
Заключение	101
Список использованных источников	102

Глава 2. Материалы и методы

2.1 Материалы исследования

Материалами исследования в нынешней работе являются коммерчески приобретенный порошок магния МПФ-4, коммерчески приобретенный никель, синтезированные наноразмерные порошки никеля и никель-хрома, водород.

Магний – серебристо-белый металл, мягкий и пластичный, хорошо проводит тепло и электричество. Температура плавления магния около 923 К, плотностью 1,738 г/см³ [30].

Никель – пластичный, ковкий, переходной металл серебристо-белого цвета, является коррозионностойким. Температура плавления никеля около 1726 К, плотностью 8,902 г/см³ [31].

Водород – легкий, бесцветный газ, без запаха, плотностью 0,0000899 г/см³ при нормальных условиях, температура плавления 14,01 К [32].

Для изготовления композитов был использован порошок магния МРФ-4 (Россия) высокой чистоты 99,2% с размером частиц 50-300 мкм, а также порошки никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома. Приготовление гидрида магния и изучение свойств полученного композита проводились с использованием автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller (GRC), специально разработанного в отделении экспериментальной физики Томского политехнического университета. Разработанный комплекс позволяет изучать процессы сорбции и десорбции водорода различными материалами с определением основных кинетических и термодинамических параметров этих процессов.

Перед процессом гидрирования порошок металлического магния подвергали механической активации в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в течение 120 минут в атмосфере аргона при скорости вращения банки 900 об/мин и размером стальных шаров 5 мм, а затем гидрированию в газовой фазе при температуре 643 К и давлении 3,5 МПа Н₂. Время выдержки в атмосфере

водорода составило 240 минут. Планетарная шаровая мельница AGO-2 также использовалась для синтеза композитов.

Количество добавленных порошков никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома составляло 15–25 масс.%. Экспериментально были подобраны оптимальные параметры для достижения наилучшего каталитического эффекта. Таким образом, была выбрана скорость вращения барабанов 900 об/мин и время измельчения 120 минут. Соотношение массы шаров к порошку составляло 20:1. Все процедуры подготовки образцов, включая распаковку, загрузку в банки для измельчения и хранение композитов, проводились в перчаточном ящике SPEKS GB 02M (Spectroscopic Systems, Россия) в атмосфере очищенного аргона (99,999%), содержащего менее 1 ppm водяного пара и 1 ppm кислорода.

Концентрацию водорода измеряли объемным методом в процессе сорбции и десорбции водорода на автоматизированном комплексе GRC. Кроме того, концентрацию водорода измеряли после экспериментов по сорбции-десорбции водорода методом плавления образца в атмосфере инертного газа (Ar) с использованием водородного анализатора RHEN602 (LECO Corporation, США).

Микроструктуру композитов изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU (Tescan Orsay Holding, a.s., Чехия). Элементный состав композитов был проанализирован методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с использованием энергодисперсионного рентгеновского спектрометра X-Max 50 (Oxford Instruments plc, Великобритания).

Кристаллическую структуру образцов анализировали методом дифракции рентгеновских лучей (XRD) в диапазоне сканирования (5-100)^o с использованием XRD-7000S (Shimadzu, Япония). Дифрактометр работал в конфигурации Брэгга-Брентано с трубкой Cu Ka ($\lambda=0,154$ нм, 40 кВ, 30 мА) с расходящейся щелью 1 нм.

Низкотемпературная сорбция N_2 использовалась для характеристики текстурных свойств образцов при температуре минус 77 К с использованием автоматизированного газоадсорбционного анализатора 3Flex (Micromeritics Instruments Corporation, США). Значения площади поверхности были рассчитаны путем линеаризации с использованием координат уравнения Брунауэра-Эммета-Теллера (ВЕТ) в диапазоне относительного давления от 0,05 до 0,30.

В этом исследовании для оценки состояния водорода в материале был применен метод температурно-программируемой десорбции (TPD) водорода. Согласно методу TPD, осуществляется непрерывный мониторинг десорбированного водорода во время нагревания образца с заданной скоростью нагрева. Десорбцию водорода в этом эксперименте проводили при скоростях нагрева 4-6 К/мин до температуры 718 К в камере с одновременным сбором спектров десорбции, запрограммированных по температуре, квадрупольным масс-спектрометром RGA100 (Stanford Research Systems, США).

2.1.1 Получение порошков металлов

Существует некоторое количество способов производства магниевого порошка, одними из которых являются:

- распыление инертными газами в герметизированную аппаратуру;
 - использование специальной форсунки, распылителем выступает очищенный инертный газ (гелий);
 - пульверизация жидкого магния при 700–800°C с применением в качестве распылителя инертных газов (гелия или аргона).
 - распыление азотом в среду бензина расплавленного магния
- и т. д.

Один из способов в своем патенте описал Гопиенко В. Г., описав изобретение для процедуры получения порошка [33]. Данное изобретение направлено на использование в порошковой металлургии, для получения

металлических порошков. Схема данного устройства представлена на рисунке 5.

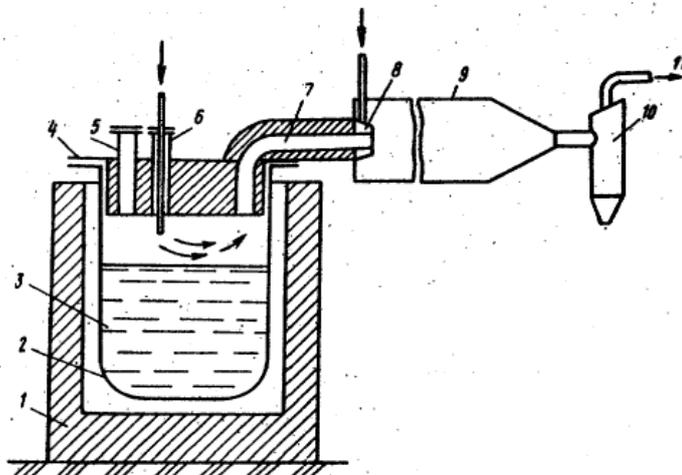


Рисунок 5 – Устройство для получения металлических порошков [34]

В печи 1 помещена реторта 2 с расплавленным металлом 3. Реторта закрыта утепленной крышкой 4, на которой смонтированы патрубки для подачи металла 5 и инертного газа 6. Через расплав над его поверхностью пропускается инертный газ (обычно аргон, азот, гелий и т. д.). Газ насыщается парами металла и после поступает в обогреваемый трубопровод 7 и через эжекционную форсунку 8 поступает в камеру конденсации 9 и систему пылеулавливания 9 и 10. Инертный газ подается через форсунку с давлением от 3 до 30 атмосфер, который расширяясь снижает температуру парогазовой струи на 50–200°C, тем самым обеспечивая быструю кристаллизацию металла из поров в порошкообразном виде. При более высоком давлении удастся получить порошки с размером частиц от 0,01 до 0,1 микрометра.

Для получения активированного порошка магния используется планетарная шаровая мельница. Активирование порошка магния необходимо для повышения его реакционной способности и в последствии получения его гидроксида. Повышение его реакционной способности связано с тем, что при измельчении мелкодисперсного порошка магния на поверхности частиц порошка происходит разрушение оксидной плёнки в следствии механического воздействия, засыпанных в барабан мельницы шаров.

2.2 Устройство планетарной шаровой мельницы

Планетарная шаровая мельница – устройство, которое служит для измельчения неорганических материалов, твердых материалов, а также для механической активации этих материалов. Как было сказано в предыдущем разделе, такая механоактивация необходима для улучшения реакционной способности.

Шаровая мельница выполнена из следующих элементов:

- корпус (нержавеющая сталь);
- обивка стенок корпуса (стекловата);
- модуль управления, встроенный;

Схема планетарной шаровой мельницы АГО-2, разработанной СО РАН ИХТТМ (г. Новосибирск) приведена на рисунке 6.

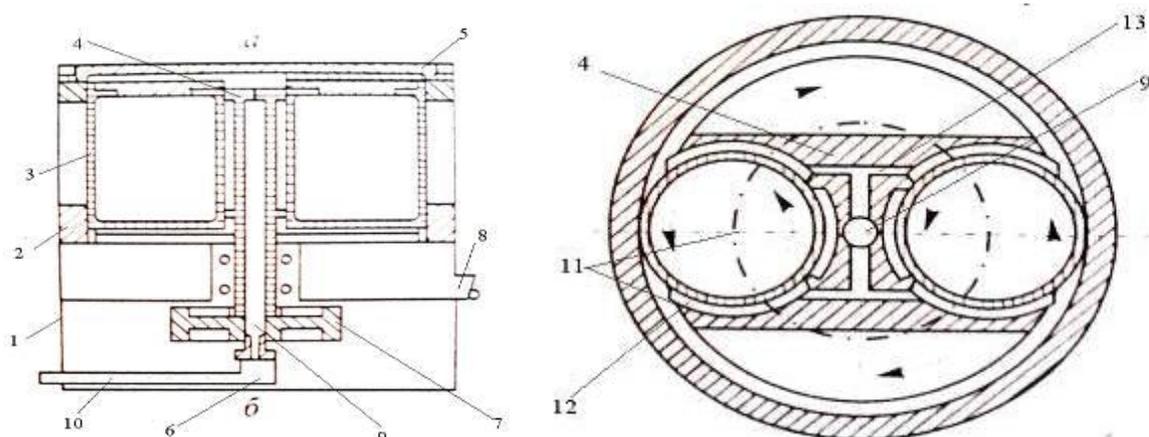


Рисунок 6 – Схема планетарной шаровой мельницы АГО-2: а – корпус, б – барабан

Представленные на рисунке 6 элементы:

1 – корпус, 2 – направляющие, 3 – барабан, 4 – водило, 5 – крышка мельницы, 6 – сливной патрубков, 7 – шкив, 8 – уплотнительное устройство, 9 и 13 – каналы, 10 – трубопровод, 11 – обойма, 12 – карман.

2.3 Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller

Комплекс GRC в качестве схемы продемонстрирован на рисунке 7. Данный комплекс состоит из компьютера (1) с программным обеспечением на

основе LabVIEW, имеет печь с высокой температурой, либо криостат (2), камеру для выбора проб (3) низкого (4) и высокого (5) давления, контроллер (6), состоящий из электронной системы управления (7) и вакуумной части из регулирующего объема (8), камеры низкого давления (9), камеры высокого давления (10), клапанов с пневматическим и ручным управлением, игольчатых клапанов, манометров, клапанов для регулирования расхода и фильтров. Система для аварийного удаления H₂ (11), при помощи которой водород можно удалить при превышении максимально необходимого давления, служит в качестве меры безопасности (с низким и высоким давлениями). Вакуумный (12) узел представляет из себя форвакуумный мембранный насос и турбомолекулярный насос, который используется для создания вакуума. Водород подается в систему из баллона (13) или генератора (14). Система охлаждения (15) установлена между печью и контроллером для предотвращения повреждения проводов при нагреве.

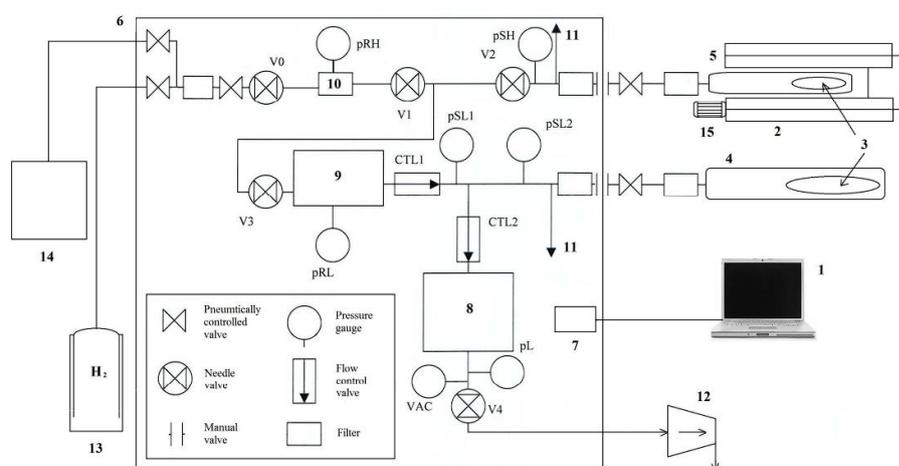


Рисунок 7 – Комплекс GRC: 1 – компьютер; 2 – высокотемпературная печь или криостат; 3 – исследуемый образец; 4 – камера низкого давления; 5 – камера высокого давления; 6 – контроллер; 7 – система управления; 8 – объем управления; 9 - резервуар с низким давлением; 10 – резервуар высокого давления; 11 – система для удаления H₂; 12 – вакуумный узел; 13 – баллон, наполненный водородом; 14 – генератор водорода; 15 – система охлаждения [34]

Данный комплекс позволяет проводить эксперименты при температурах от -30°C до 1000°C . Для нагрева до высоких температур обычно используют линейный нагрев с программируемой скоростью нагрева образцов с постоянной откачкой для удаления газов, десорбирующихся в камере. Размер образцов, помещаемых в камеры низкого давления может достигать до 30 мм в диаметре на 80 мм и до 6 мм в диаметре на 20 мм в камерах высокого давления. Камера низкого давления способна выдерживать 202,64 кПа, в то время как камера высокого давления выдерживает 5066 кПа [34].

2.4 Анализатор водорода RHEN-602

Анализатор RHEN-602 предназначен для определения общего и поверхностного водорода (особенно низких концентраций <2 ppm (англ. “parts per million” – “частей на миллион”)) методом плавления в инертной атмосфере в алюминии, черных и цветных металлах, огнеупорных материалах, гидридах, редкоземельных металлах и неорганических материалах. Предусмотренные методы позволяют выбрать оптимальные параметры настройки печи и анализа для каждой конкретной матрицы образца, что позволяет подобрать правильный размер навески и улучшает точность результата.

Принцип работы заключается в том, что предварительно взвешенная проба помещается в шлюз и после дегазации графитового тигля сбрасывается в него. Проба плавится в восстановительной среде графита тигля в потоке инертного газа. На рисунке 8 представлен прибор для анализа количественного содержания водорода.



Рисунок 8 – Анализатор водорода RHEN-602 [35]

Водород, присутствующий в пробе, выделяется в виде молекулярного водорода, измеряется в ячейке теплопроводности. На рисунке 9 представлена схема работы газоанализатора.

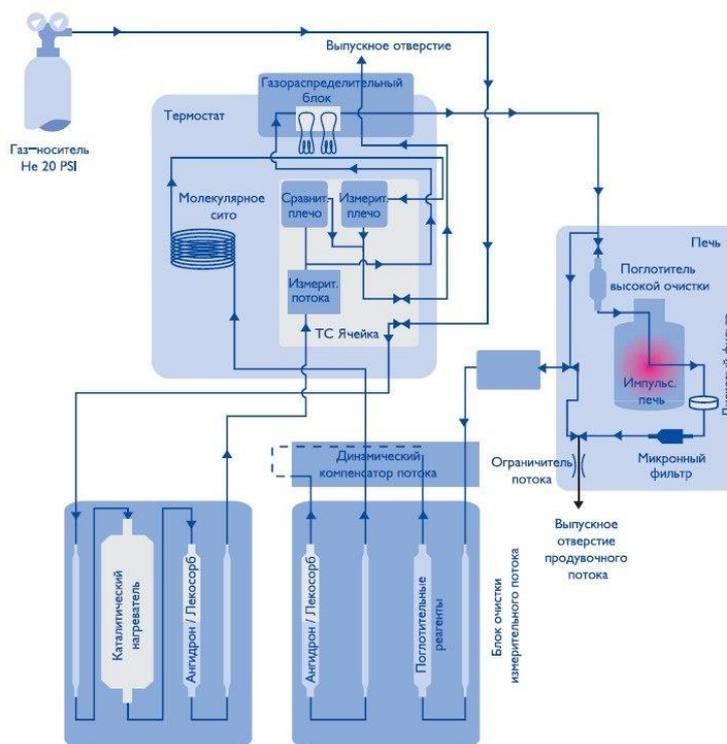


Рисунок 9 – Схема анализатора водорода [35]

Особенностями RHEN-602 является следующее:

- управление с помощью внешнего ПК (опция);

- высокая чувствительность до 0,001 ppm H;
- масса пробы до 6 грамм позволяет улучшить точность и повысить пределы обнаружения;
- программируемая скорость нагрева импульсной печи (возможность определения поверхностного и растворенного водорода);
- калибровка по газовой дозе или стандартному образцу;
- предустановленные методики;
- встроенная самодиагностика;
- программное обеспечение под Windows с гибкими настройками для производственных и исследовательских задач;
- стандартный интерфейс включает информацию об образце и статистику;
- конструкция ячейки теплопроводности позволяет получать еще большую точность и стабильность результатов [35].

С помощью данного прибора становится возможным определение водорода в: металлах (легко- и тугоплавких), сплавах, стали, металлических порошках. В данной работе прибор используется для количественной оценки поглощенного композитом водорода.

2.5 Термодесорбционная спектроскопия

Данный метод основан на изучении кинетики выделения газообразного диффузанта из образца в режиме программированного нагрева. В ходе эксперимента регистрируется уменьшение количества диффузанта в образце (интегральный вариант) или увеличение концентрации в газе-носителе (дифференциальный вариант). Кинетика (скорость) выделения газа из образца зависит от концентрационного профиля диффузанта и механизма его диффузии.

При нагревании образца с постоянной скоростью, зависимость потока газа от времени можно описать при помощи монотонно убывающей функции. Однако при увеличении скорости нагрева кривые начинают проходить через максимум.

Температурная зависимость коэффициента диффузии описывается уравнением Аррениуса:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

где D_0 и E – пред экспоненциальный множитель и энергия активации диффузии, соответственно, R – газовая постоянная, T – температура

Метод термодесорбционной спектроскопии позволяет определить спектр энергий активации диффузии. Эксперимент обычно проводится с использованием четко определенных поверхностей монокристаллических образцов в камере сверхвысокого вакуума с непрерывной откачкой. Молекулы или атомы, сталкиваясь с поверхностью могут адсорбироваться поверхностью, изменяя энергию связи зависимости от комбинации адсорбата и поверхности. При нагреве поверхности, энергия, передаваемая адсорбированным частицам, вызывает их десорбцию [36–37].

Температура, при которой происходит десорбция, называется температурой десорбции. То есть метод ТДС показывает информацию об энергии связи. Для измерения массы десорбированных молекул необходимо использование масс-спектрометра, таких, например как, квадрупольный масс-спектрометр или времяпролетный масс-спектрометр в условиях сверхвысокого вакуума. Процесс нагрева регулируется при помощи алгоритма, где регулятором выступает компьютерное специализированное оборудование.

Термодесорбционный спектрометр относится к поверхностно-ионизационному газоаналитическому прибору. Схема принципа действия описана на рисунке 10.

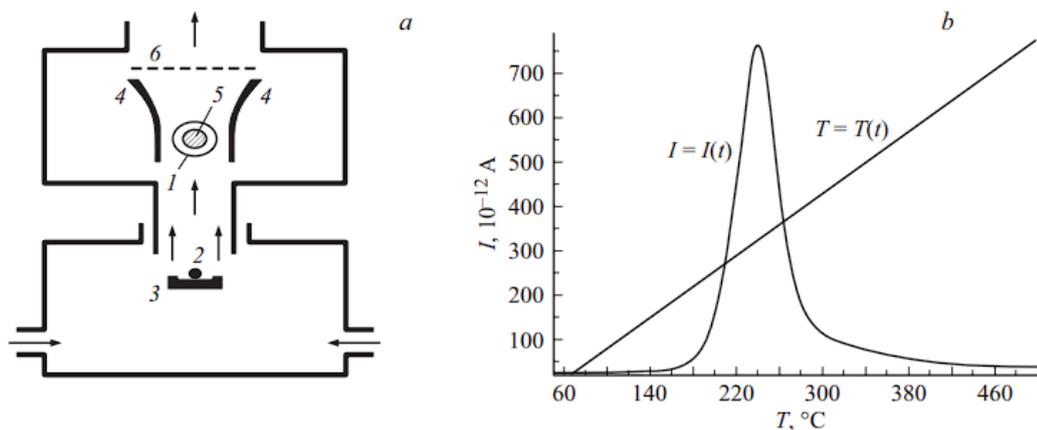


Рисунок 10 – а – схема и принцип действия термодесорбционного поверхностно-ионизационного спектрометра: 1 – эмиттер, 2 анализируемый образец, 3 – испаритель, 4 – фокусирующие электроды, 5 – нагреватель, 6 – коллектор ионов; б – зависимости $I = I(t)$ и $T = T(t)$.

Спектрометр в работе [38] связан с персональным компьютером, запись и обработка спектров осуществляются с помощью разработанной специальной программы. Идентификация спектра исследуемого анализа проводится путем сравнения со спектрами АОС (активными органическими соединениями), имеющимися в электронном банке спектров, а определение его количества – по калибровочным кривым.

В качестве термоэмиттера ПИД использован окисленный монокристаллический молибден, легированный иридием (~1–2 об.%). Испаритель представляет собой графитизированную металлическую чашку с диаметром 3 мм и высотой 1,5 мм. На испаритель наносятся микроколичества раствора анализа с помощью шприца ” Agilent“ объемом 5 микролитров. Растворы готовились путем последовательного разбавления анализируемых веществ. В качестве растворителей использовались ацетонитрил и этиловый спирт. Для калибровки прибора как по току (ионизационная эффективность), так и по T_{\max}^s (линейность диапазона развертки) использованы эталонные хроматографически чистые образцы амитриптилина с $T_{\max}^s = 110^\circ\text{C}$ и морфина с $T_{\max}^s = 180^\circ\text{C}$ при количестве вещества 50 нанограмм.

В диффузионном эксперименте одним из приборов, используемых для регистрации ионов, является времяпролётный масс-спектрометр. В данном приборе ионы начинают образовываться в источнике ионов и коротким электрическим импульсом как бы «впрыскиваются» и в виде «ионного пакета» через сетку 1 в анализатор 2, представляющий собой эквипотенциальное пространство. В процесс дрейфа к коллектору 3 исходный пакет расслаивается на несколько пакетов, каждый из которых состоит из ионов с одинаковыми m/e . Такое поведение ионных пакетов обусловлено одинаковыми энергиями всех ионов, а скорость и время пролёта через анализатор определенной длины обратно пропорциональны величине $m^{1/2}$. Схема данного прибора представлена на рисунке 11.

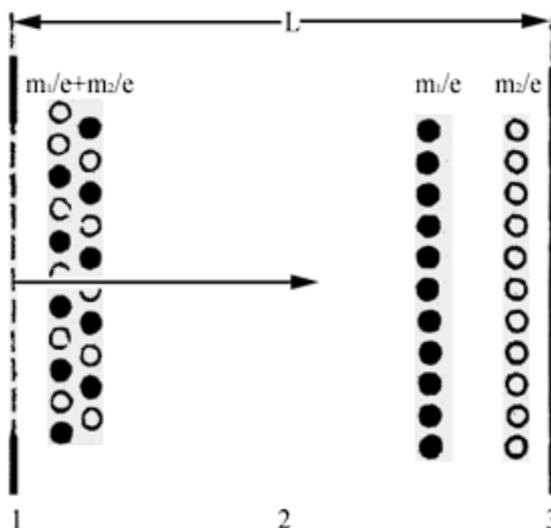


Рисунок 11 – Схема времяпролётного масс-анализатора: 1 – сетка, 2 – дрейфовое пространство, 3 – коллектор, m_1/e и m_2/e – ионы разных масс, движущихся в дрейфовом пространстве [39]

Термодесорбцию можно описать с помощью уравнения Аррениуса:

$$r(\sigma) = -\frac{d\sigma}{dt} = v(\sigma)\sigma^n e^{-\frac{E_a(\sigma)}{RT}}, \quad (2)$$

где $r(\sigma)$ – скорость десорбции [моль/см²с], как функция σ , n – порядок десорбции, σ – покрытие поверхности, $v(\sigma)$ – предэкспоненциальный коэффициент [Гц], $E_a(\sigma)$ – энергия активации десорбции [кДж/моль], R – газовая постоянная [Дж/К моль], T – температура [К].

На практике данное уравнение сложно применимо, а несколько переменных данного уравнения являются функцией покрытия и непосредственно влияют друг на друга. Если предполагать, что предэкспоненциальный коэффициент и энергия не зависят от покрытия, то термодесорбция описывается упрощенным уравнением Аррениуса:

$$r(t) = -\frac{d\sigma}{dt} = v_n \sigma^n e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (3)$$

где $r(t)$ – скорость десорбции [моль/см²с], n – порядок десорбции, σ – покрытие поверхности, v_n – предэкспоненциальный коэффициент [Гц], E_a – энергия активации десорбции [кДж/моль], R – газовая постоянная [Дж/К моль], T – температура [К] [40–42].

2.6 Метод рентгеноструктурного анализа порошков

Рентгеноструктурный анализ композита гидрида магния и никеля (MgH₂(Ni)) проводился путем анализа дифрактограмм, полученных на дифрактометре Shimadzu XRD-7000S с высокоскоростным широкоугольным детектором OneSight. Внешний вид установки представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Конструкция дифрактометра Shimadzu XRD-7000S

Данный дифрактометр анализирует кристаллические состояния при нормальных условиях. Принцип работы устройства заключается в дифрагировании образцом сфокусированного на нём рентгеновского пучка.

Изменения в дифрагированных рентгеновских лучах измеряются и наносятся на график в зависимости от углов поворота образца. Компьютерный анализ положений пиков и интенсивностей позволяет проводить качественный анализ, а также дает возможность определить постоянную кристаллической решетки. Качественный анализ проводится на основе высоты пика или площади пика.

2.7 Растровая электронная микроскопия

Для получения изображения был использован сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) TESCAN VEGA 3 SBU с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) OXFORD X Max 50. Внешний вид установок приведен на рисунке 13.



Рисунок 13 – СЭМ TESCAN VEGA 3 SBU (2) с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) OXFORD X Max 50 (1)

СЭМ TESCAN VEGA 3 SBU сканирующий растровый электронный микроскоп, полностью управляемый от персонального компьютера, который оснащен электронной пушкой с вольфрамовым термоэмиссионным катодом. Он включает в себя: источник электронов, систему их фокусировки в тонкий

пучок, оборудование для развертки пучка в растр, набор соответствующих устройств для регистрации электронов, излучаемых образцом, монитор для вывода изображения на экран.

Принцип действия сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU заключается в регистрации детектором обратно рассеянных электронов, которые возникают после облучения зондом поверхности образцов. Получение изображения в отраженных электронах вызвано тем, что эмиссия этих электронов зависит от порядкового номера химического элемента. Поэтому, участок материала с более высоким средним порядковым номером атомов отражает большее количество электронов и отображается на экране подключенного к микроскопу компьютера более светлым тоном относительно других участков образца.

СЭМ оснащен энергодисперсионным спектрометром для микроанализа. С помощью пучка электронов атомы исследуемого образца возбуждаются, испуская характерное для каждого химического элемента рентгеновское излучение. Исследуя энергетический спектр такого излучения, можно сделать выводы о качественном и количественном составе образца.

2.7.1 Энергодисперсионный анализ

Метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (англ. “Energydispersive X-ray spectroscopy”, EDX, EDRS или EDS) — аналитический метод элементного анализа твёрдого вещества, базирующийся на анализе энергии эмиссии его рентгеновского спектра. Шкала энергий разбивается на n каналов (на рисунке их 24, но на практике их число достигает порядка $n = 1024$ или 2048). Высота столбика гистограммы в каждом канале равна количеству рентгеновских фотонов с энергией из соответствующего диапазона. С помощью пучка электронов (в электронных микроскопах) или рентгеновских лучей (в рентгеновских флуоресцентных анализаторах) атомы исследуемого образца возбуждаются, испуская характерное для каждого химического элемента рентгеновское излучение. Исследуя энергетический спектр такого

излучения, можно сделать выводы о качественном и количественном составе образца.

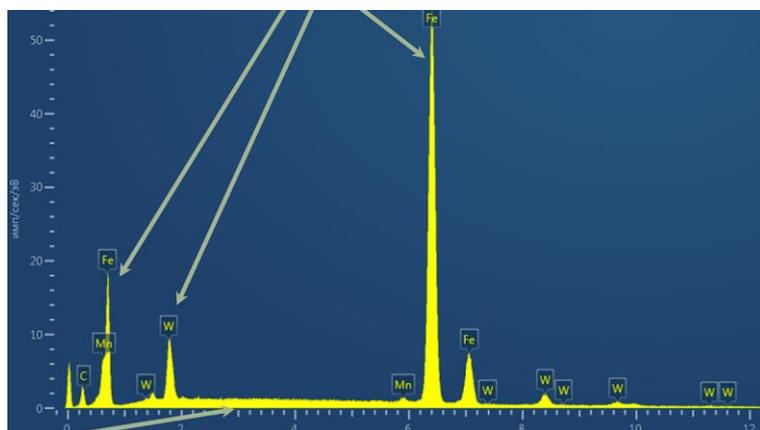


Рисунок 14 – Дифрактограмма, полученная методом энергодисперсионной спектроскопии [43]

Фон образуется, когда электроны первичного пучка теряют энергию из-за электростатического взаимодействия с ядрами атомов. Уровень фона – это фактор, который ограничивает предел обнаружения в данном методе.

Химический состав определяется системой Standard Aztec Energy/X-act с базовым безазотным детектором производства компании OXFORD INSTRUMENTS, с точностью массовой доли элементов 0.1 %. Энергодисперсионный спектрометр (ЭДС) на основе полупроводникового кремнийдрейфового детектора с безазотным охлаждением, устанавливаемого на колонну РЭМ с площадью активной зоны детектора более 10 мм². Диапазон детектируемых элементов от Be(4) до Pu(94).

Требования, предъявляемые к образцу:

- Образец должен быть отполированный и в камере располагаться горизонтально (у рельефных образцов невозможно предсказать длину пути X-Ray до выхода из образца, а значит ошибочно будет вычислена поправка на поглощение).
- В качестве образцов можно использовать только проводники.

- Изучаемые объекты должны быть крупнее, чем локальность микроанализа, вычисленная для матрицы данной плотности при данном ускоряющем напряжении (локальность составляет от 0.5 до 4 мкм).
- Накопление спектров должно выполняться при высоком вакууме в камере образцов (в низком вакууме рентгеновское излучение рассеивается, что сильно ухудшает локальность микроанализа) [43].

2.7.2 Картирование процесса

Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия (РФА) является одним из наиболее распространенных неразрушающих методов элементного анализа материалов и обычно используется для исследования образцов в самых разных областях, таких как экология и судебная экспертиза, археология, электроника и металлургия. В обычном настольном рентгеновском спектрометре коллимированный первичный рентгеновский луч направляется на поверхность аналитического образца. Это приводит к тому, что флуоресценция генерирует характерные рентгеновские лучи, которые затем собираются детектором, расположенным поблизости. Энергия и интенсивность характерных рентгеновских лучей используются для идентификации и количественной оценки элементов в образце [44].

Рентгеновское картирование процесса происходит при помощи специального программного обеспечения. В его основе лежит принцип рентгеновской флуоресценции.

Метод позволяет визуализировать распределение химических элементов по поверхности объекта с неравномерным составом, а также дает возможность исследования влияния состава на свойства твердой поверхности. На рисунке 15 представлена оптическая схема прибора РМ-30μ.

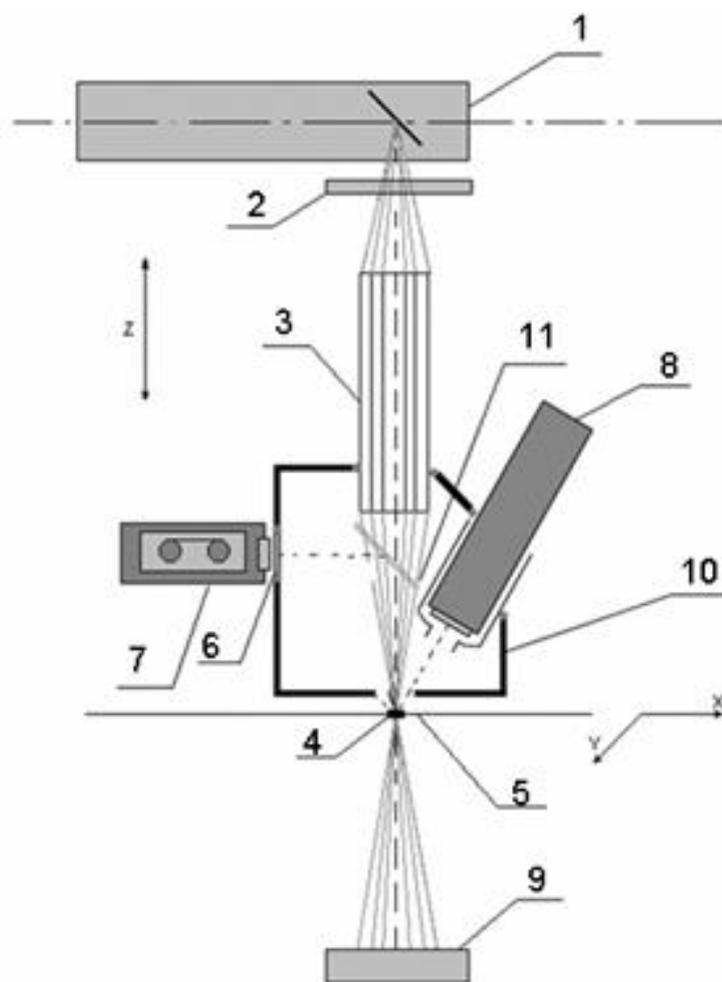


Рисунок 15 – Рентгенооптическая схема [45]

Источником первичного рентгеновского излучения является микрофокусная рентгеновская трубка (1). На выходном окне трубки смонтирован коллиматор, ограничивающий телесный угол расхождения рентгеновского излучения. Ниже располагается диск с установленными сменными фильтрами (2).

Поток рентгеновского излучения формируется поликапиллярной линзой (3). Исследуемый объект устанавливают на предметном столе (5) в фокусе поликапиллярной линзы (максимальное пространственное разрешение) или за фокусом линзы в расходящейся части потока рентгеновского излучения — в зависимости от требуемой локальности анализа. Предметный стол автоматически перемещается по осям X, Y, а измерительная система — по оси Z.

Камера видеонаблюдения (7) с объективом (6), обеспечивающим увеличение изображения до 200х (цифровой микроскоп), выводит на монитор компьютера изображение исследуемого объекта. На этом изображении «мышкой» выбирают область для анализа.

Регистрация спектров рентгеновской флуоресценции осуществляется полупроводниковым дрейфовым энергодисперсионным детектором (8).

Регистрация изображения «на просвет» осуществляется фотодиодным регистратором рентгеновского потока (9). Он измеряет интенсивность излучения, прошедшего через точку зондирования исследуемого объекта. Таким способом измеряется плотность объекта в анализируемой точке.

Объектив цифрового микроскопа, поликапиллярная линза и энергодисперсионный детектор расположены в герметичной камере (10). Для измерения легких элементов из нее можно откачать воздух компактным форвакуумным насосом для улучшения чувствительности.

Окно вакуумной камеры, через которое производится исследование флуоресценции образца, закрыто лавсановой пленкой. Исследуемая область образца размещается на минимальном расстоянии от лавсанового окна камеры, чтобы минимизировать потери низкоэнергетической части спектра рентгенофлуоресценции [45].

В режиме картирования проводят анализ всей полученной спектральной информации. На рисунке 16 представлен пример режима.

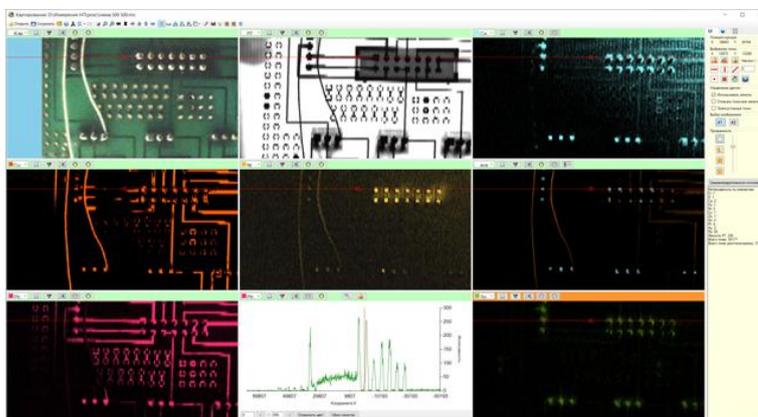


Рисунок 16 – Режим картирования установки РМ-30μ [44]

Для карт и рентгенограмм возможно изменение цвета, яркости, уровня градиента, отображение масштаба и комментариев. На их основе можно извлекать дополнительную информацию: рассчитывать распределение количества точек от интенсивностей, строить графики изменений интенсивностей от положения вдоль линии, определять линейные и диаметральные размеры различных областей. Карты можно накладывать друг на друга, а также на рентгенограмму и изображение с видеокамеры. Возможно измерение дополнительных спектров с автоматическим перенаправлением в режим измерения.

Обеспечивается возможность просмотра спектра в каждой точке распределения элементов, а также суммарного спектра – по всей области анализа или заданной зоне.

2.8 Термогравиметрический анализ

Термогравиметрический анализ (ТГА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) проводится на приборе STA 449 F3 Jupiter. Данный прибор предназначен для работы в широком температурном диапазоне от минус 150 до 2400 °С при различной атмосфере, а также в вакууме. Он позволяет одновременно регистрировать изменения массы образца и процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла. Метод дифференциальной сканирующей калориметрии основан на измерении теплового потока, требуемого для поддержания одинаковыми температур образца и эталона в данных условиях. В этом методе исследуемый образец помещается в тигель, который устанавливают в калориметр на термопару. Также параллельно тигель без образца помещают на другую термопару. В электрическую цепь нагревателя введены контуры средней и дифференциальной температур. Первый обеспечивает изменение температуры образца и эталона с заданной программным устройством постоянной скоростью, а второй – при возникновении в образце эндо- или экзо-эффектов устраняет путем автоматической регулировки силы тока

нагревателя различие в температурах образца и эталона, поддерживая температуру камеры образца всегда равной температуре камеры эталона.



Рисунок 17 – Внешний вид прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter

Термогравиметрический анализ – метод исследования и анализа, основанный на регистрации изменения массы образца в зависимости от его температуры в условиях программированного изменения температуры среды. В результате получают кривые зависимости изменения массы образца (термогравиметрическая кривая) либо скорости изменения массы (дифференциальная термогравиметрическая кривая) от времени или от температуры.

2.9 Метод математического описания физической адсорбции

Данный метод предназначен для математического описания физической адсорбции, который основан на теории полимолекулярной адсорбции. Схематичная модель такого процесса представлена на рисунке 18 (*Sample surface* – поверхность образца, *Adsorbate* – адсорбат).

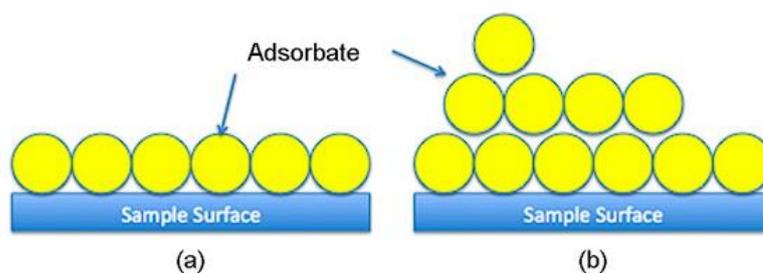


Рисунок 18 – Схема адсорбции молекул газа на поверхности образца, показывающая (а) модель однослойной адсорбции, принятую теорией Ленгмюра, и (б) модель многослойной адсорбции, принятая теорией БЭТ [46]

Методика предложена Брунауэром, Эмметом и Теллером, в последствии по первым буквам фамилий которых был назван метод БЭТ (англ. *BET method*). Для него характерны следующие допущения: изучаемые поверхности адсорбентов обычно однородны, взаимодействие между адсорбентом и адсорбатом гораздо сильнее, чем взаимодействие между адсорбатами. Примеры изотерм БЭТ при взаимодействии адсорбата с различным количеством молекул представлено на рисунке 19.

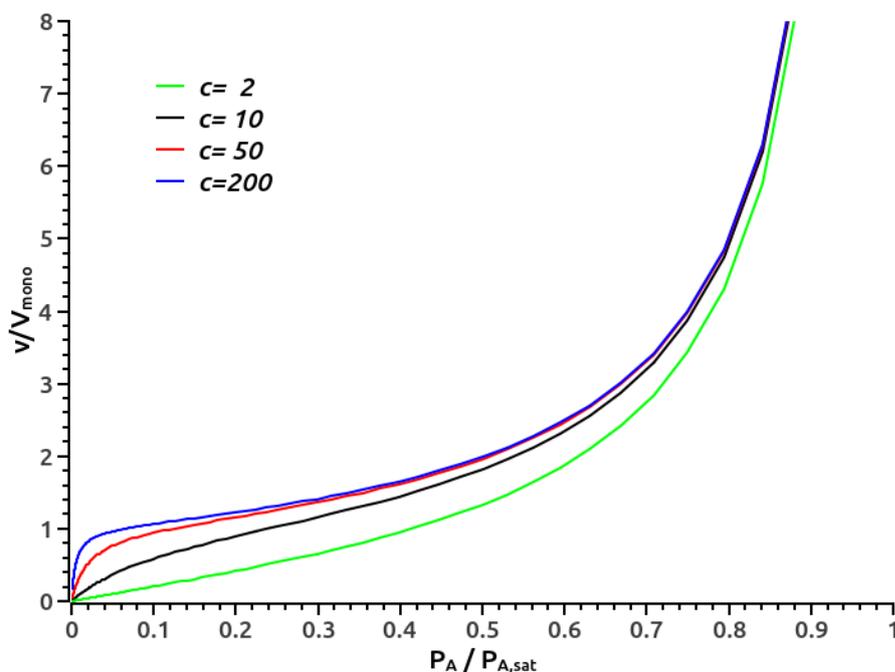


Рисунок 19 – Изотермы БЭТ с разным количеством взаимодействующих с адсорбатом молекул

Уравнение изотермы адсорбции имеет линейную форму и имеет следующий вид:

$$\frac{\frac{p}{p_0}}{a \left[\left(1 - \frac{p}{p_0} \right) \right]} = \frac{C - 1}{a_m C} \left(\frac{p}{p_0} \right) + \frac{1}{a_m C} ,$$

где p/p_0 – отношение давления в системе к давлению конденсации, a – величина адсорбции, a_m – объем монослоя на поверхности адсорбента, C – отношение констант адсорбционного равновесия в первом слое и константы конденсации.

Адсорбция определяется как прилипание атомов или молекул газа к поверхности. Следует отметить, что адсорбцию не следует путать с абсорбцией, при которой жидкость проникает в жидкость или твердое вещество. Количество адсорбированного газа зависит от открытой поверхности, а также от температуры, давления газа и силы взаимодействия между газом и твердым веществом. При анализе площади поверхности БЭТ обычно используется азот из-за его высокой чистоты и сильного взаимодействия с большинством твердых веществ.

Поскольку взаимодействие между газовой и твердой фазами обычно слабое, поверхность охлаждают с использованием жидкости N_2 для получения заметных количеств адсорбции. Затем известные количества газообразного азота поэтапно выпускаются в ячейку для отбора проб. Относительное давление, меньшее атмосферного, достигается за счет создания условий частичного вакуума. После достижения давления насыщения адсорбция больше не происходит, независимо от дальнейшего повышения давления. Высокоточные датчики давления отслеживают изменения давления, обусловленные процессом адсорбции. После формирования адсорбционных слоев образец удаляют из атмосферы азота и нагревают, чтобы вызвать выделение адсорбированного азота из материала и определить его количество. Собранные данные отображаются в виде изотермы БЭТ, которая отображает

количество адсорбированного газа в зависимости от относительного давления [46].

Практическое применение заключается в нахождении площади поверхности пористого материала. В связи с чем получают экспериментальную зависимость адсорбции a от давления p/p_0 при постоянной температуре, в результате чего получают изотермы адсорбции, представленные на рисунке выше. С помощью уравнения изотермы адсорбции вычисляют величину объема монослоя на поверхности монослоя и после число молекул в монослое. Определение площади поверхности пористого материала проводится с помощью проведения касательной к кривой изотермы в определенном интервале p/p_0 – один из катетов прямоугольного треугольника, площадь которого эквивалента площади поверхности исследуемого образца и измеряется в $[m^2/g]$, как представлено на рисунке 20.

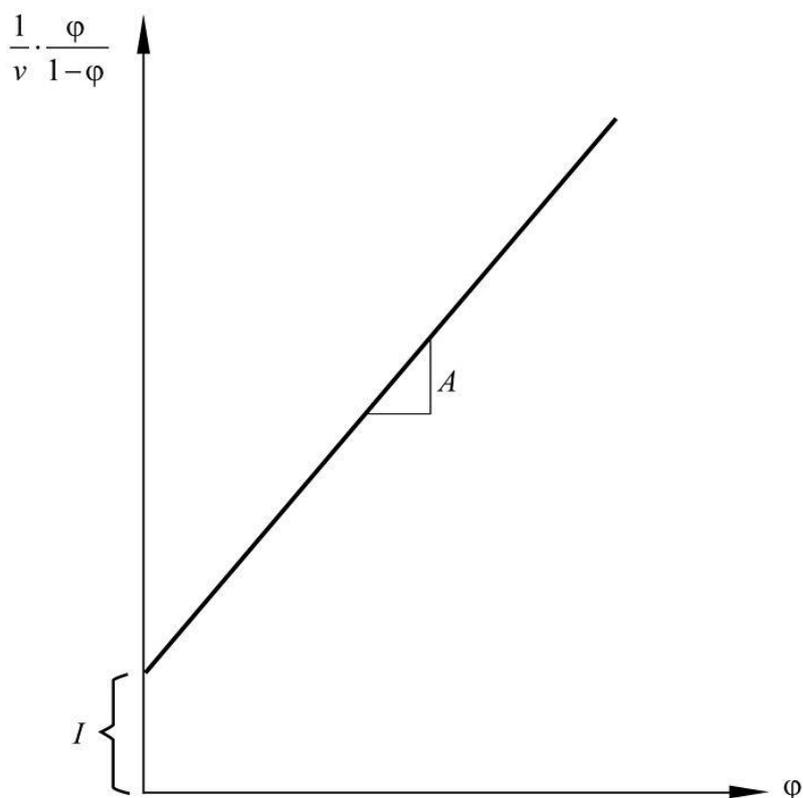


Рисунок 20 – Линейное отображение изотермы адсорбции БЭТ

Данный метод позволяет определять площадь поверхности с точностью 5–10% с интервалом относительного давления (p/p_0) 0,05–0,35.

Перед проведением анализа необходимо предварительно подготовить образцы. Они подвергаются сушке и дегазации в вакууме. На рисунке 21 иллюстрируется принципиальная схема БЭТ анализатора (*Nitrogen gas*– азот, *Helium gas*– гелий, *Injection port*– инъекционный порт, *Liquid Nitrogen Dewar*– сосуд Дьюара на жидком азоте, *Sample Cell*– ячейка образца, *Data Collector*– Сбор данных).

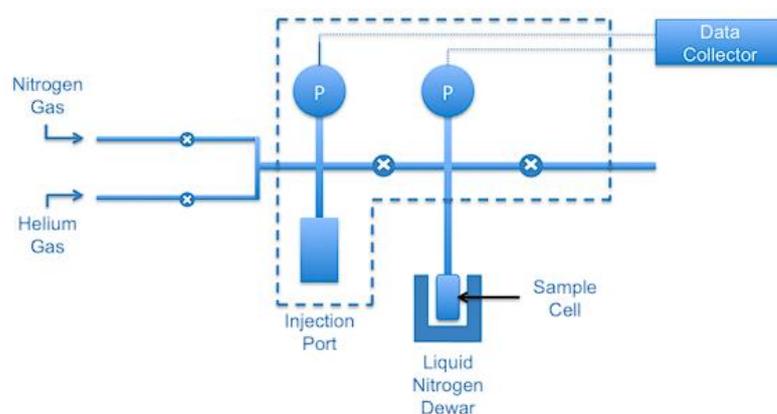


Рисунок 21 – Схематическое изображение БЭТ инструмента. Дегазатор не показан [46]

Измерения ВЕТ могут быть использованы только для определения площади поверхности сухих порошков. Этот метод требует много времени для того, чтобы произошла адсорбция молекул газа. Требуется большая ручная подготовка [46].

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б91	Кенжиев Алан Александрович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы – 16%. Районный коэффициент – 30%. Премияльный коэффициент составляет 30% от оклада. Коэффициент доплат и надбавок 20% от оклада
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценить потенциальных потребителей исследования, проанализировать конкурентных решений, представить SWOT – анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Представить план этапов работ, определить трудоёмкость и построить календарный график, сформировать бюджет НИ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определить интегральные показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности разработки. Рассчитать сравнительную эффективность проекта

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	Былова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кенжиев Алан Александрович		

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители данного исследования

Объектом данного исследования являются композиты на основе гидрида магния с добавлением мелкодисперсных порошков никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома.

Выбор оптимального соотношения масс и модификации никеля позволит достичь цели, а именно исследования влияния модификации мелкодисперсного порошка на температуру десорбции (выхода) водорода из композитов.

В таблице 9 представлены потенциально возможные потребители технического решения.

Таблица 9 – Потенциальные потребители проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научные центры	Использование полученных результатов для разработки и улучшения свойств полученных образцов на основе гидрида магния
Организации по производству аккумуляторов водорода	Прикладное применение
Научные коллективы	Использование полученных исследовательских результатов для дальнейшей разработки и модифицирования свойств композитов с гидридом магния

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных разработок рынка, которые проводятся научными группами и центрами, проводится постоянно. Это связано с появлением новых разработок на рынке. Данный анализ необходим в научном

исследовании для того, чтобы: во-первых, своевременно вносить корректировки в исследования; во-вторых, поддерживать рентабельность данного проекта. Важным аспектом в этом разделе является непредвзятость рассмотрения научной разработки, то есть адекватно определить сильные и слабые стороны проекта по сравнению с другими разработками.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 10.

Основными конкурентами композитов на основе гидрида магния с добавлением мелкодисперсных порошков являются композиты на основе гидрида магния с добавлением углеродных нанотрубок, так как данные композиты могут иметь более высокую сорбционную емкость, но более высокую температуру десорбции; и соединение LaNi_5 (лантан-никель), которое уже давно исследуется в тематике водородной энергетики и имеет низкую температуру поглощения водорода. Условные обозначения: $K_{\text{НИ}}$ – композиты с никелем, $K_{\text{УН}}$ – композиты с углеродными нанотрубками, $K_{\text{ЛА}}$ – соединение LaNi_5 .

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 10, подбирались исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Основными критериями оценки материалов биомедицинского назначения будут являться: биodeградируемость, биоактивность, биологическая безопасность, простота в эксплуатации и изготовлении. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения разработок

Факторные признаки (P _j)	Вес критерия, a _j	Баллы			Конкурентоспособность		
		b _{НИ}	b _{УН}	b _{ЛА}	K _{НИ}	K _{УН}	K _{ЛА}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки							
1. Простота в изготовлении	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,4
2. Сорбционная емкость	0,2	4	5	3	0,8	1	0,6
3. Низкая температура десорбции	0,2	5	2	3	1	0,4	0,6
4. Токсичность	0,15	3	3	3	0,45	0,45	0,45
5. Низкая температура сорбции	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
Итого	1	20	15	18	3,45	2,65	3,05

По результатам оценки можно выявить такие конкурентные преимущества в виде более низкой температуры десорбции, что позволит использовать композит в мобильных системах транспортировки водорода. Несмотря на это, у представленных конкурентов имеются низкие показатели простоты изготовления, это связано в основном с технологиями получения, которое несколько сложнее в сравнении с исследуемыми композитами. Так же уязвимой позицией конкурентов является: низкая температура десорбции, данный критерий является весомым в разработке так как именно благодаря ему становится возможным более легче выделить необходимый в качестве топлива водород.

Итогом данного анализа является разработка конкурентного преимущества в виде композитов на основе гидрида магния с добавками порошков никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой полный анализ данного научно-исследовательского проекта (таблица 11).

Таблица 11 – матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
Внутренняя среда	S (Strengths)	W (Weakness)
	<p>С1. Простая и быстрая технология изготовления.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Комплекс физико-механических свойств продукта.</p> <p>С4. Помощь в исследовании со стороны вузов-партнеров</p>	<p>Сл1 Отсутствие похожих исследований по этой теме</p> <p>Сл2. Длительный период аналитических испытаний.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения ряда исследований в ТПУ</p>
	Возможности	Угрозы
Внешняя среда	O (Opportunities)	T (Threats)
	<p>В1. Импортозамещение на российском рынке</p> <p>В2. Появление спроса на товар, обусловленного его конкурентными преимуществами;</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;</p> <p>У2. Поломка оборудования;</p> <p>У3. Снижение финансирования.</p>

Следующий этап заключается в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно – исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды (таблица 12).

Таблица 12 – Интерактивная матрица сильных сторон с учетом возможностей

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

При проведении анализа таблицы учета сильных сторон и возможностей, можно выделить следующие коррелирующие комбинации: B1C1C2C3, B2C1C2C3, B3C3.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 13– Интерактивная матрица слабых сторон с учетом возможностей

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	+	-
	B2	+	-	-
	B3	-	-	-

При проведении анализа таблицы учета слабых сторон и возможностей, можно выделить следующие коррелирующие комбинации: B1Сл2, B2Сл1.

Таблица 14 – Интерактивная матрица сильных сторон с учетом угроз

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	+	+	+
	У2	-	+	-	+
	У3	+	-	-	+

При проведении анализа таблицы учета сильных сторон проекта с учетом угроз, выявлены следующие комбинации: У1С2С3С4, У2С2С4, У3С1С4

Таблица 15 – Интерактивная матрица слабых сторон с учетом угроз

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	-	-	-
	У3	-	-	-

При реализации 3 этапа в результате рассмотрения 4 матриц составляется итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 16 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Простая и быстрая технология изготовления.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Комплекс физико-механических свойств продукта.</p> <p>С4. Помощь в исследовании со стороны вузов-партнеров</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие похожих исследований по этой теме</p> <p>Сл2. Длительный период аналитических испытаний.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения ряда исследований в ТПУ</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Импортозамещение на российском рынке</p> <p>В2. Появление спроса на товар, обусловленного его конкурентными преимуществами;</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Повышение интереса со стороны производителей мелкодисперсных порошков и научно-исследовательских групп; • Повышение интереса со стороны производителей мелкодисперсных порошков и научно-исследовательских групп при увеличении 	<ul style="list-style-type: none"> • Использование научно-исследовательских достижений ТПУ при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования

	стоимости конкурентных разработок.	
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2. Поломка оборудования; У3. Снижение финансирования.	<ul style="list-style-type: none"> • Предоставление вузом-партнером использования необходимого оборудования; • Экономичность, энергоэффективность и низкая стоимость технологии может повысить спрос со стороны научного сообщества. 	<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие спроса и длительное проведение аналитических испытаний приводит к трудностям при выводе продукта на рынок; • Снижение финансирования при уже существующем недостатке финансовых средств усложнит и замедлит проведение дальнейших исследований.

В результате рассмотрения матрицы SWOT – анализа можно сделать вывод, что основные угрозы проекту следует ожидать со стороны отсутствия спроса в связи с аналогами на рынке. Он имеет ряд преимуществ, связанных с желаемыми физическими свойствами, что позволяет ему занять место на рынке по сравнению с другими. Для того, чтобы преодолеть сложность в длительных аналитических испытаниях, выступает возможным провести необходимые и достаточные анализы для оценки эффективности разработки, а именно оценки количества содержащегося водорода, установления температуры десорбции и проведение расчета по масштабированию для промышленного производства.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

При возникновении проблем, связанных с исполнением описанной в главах 2-3 работы, предполагается заменить добавку наноразмерного порошка никеля на аналогичную каталитическую добавку другого компонента, например, более дешевого никеля, произведенного промышленным методом.

Такое исполнение имеет множество преимуществ, главное из которых – это доказанная эффективность улучшения кинетики десорбции водорода из гидрида магния, однако композиты на основе магния с добавками педреходных металлов в настоящее время почти полностью изучены. Поэтому будет возможно более точно подобрать параметры синтеза вследствие большого количества статей, посвященных исследованию композитов на основе магния и переходных металлов. Недостатком данной альтернативы является отсутствие новизны.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

В таблице 17 приведен перечень работ и этапов в рамках проведения данной исследовательской работы.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические исследования	2	Обзор научной литературы	Студент
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Проведение ОКР			
Экспериментальные исследования	4	Подготовка порошков в планетарной шаровой мельнице	Студент
	5	Получения гидрида	Оператор 1, студент
	6	Синтез гидрида магния с добавками в планетарной шаровой мельнице	Студент
	7	Рентгенофазовый анализ образцов	Оператор 2, студент
	8	Сканирующий электронный микроскоп	Оператор 3, студент
	9	ТГА	Руководитель, оператор 4
	10	Термодесорбционная спектроскопия	Оператор 1, студент
Оформление отчета НИР	11	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	Студент
	12	Составление пояснительной записки	Студент

Для определения среднего значения трудоемкости $t_{ожі}$ используют следующее соотношение:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5};$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.; $t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Продолжительность одной работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i};$$

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

Перевод рабочих дней в календарные:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = 1,48;$$

где $T_{вых}$ – количество выходных дней в году, $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Расчета трудоемкости работ представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни							
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Составление и утверждение технического задания	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	Р	1,4	1,4	2,1	2,1

Таблица 18.1 – Продолжение таблицы 18

Обзор научной литературы	20	20	30	30	24	24	С	С	24	24	35,5	35,5
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	Р, С	Р, С	0,7	0,7	1,03	1,03
Подготовка порошков в планетарной шаровой мельнице	5	5	7	7	5,8	5,8	С	С	5,8	5,8	8,6	8,6
Получения гидрида	2	0,5	5	5	3,4	2,3	С, О1	С, О1	1,7	1,65	2,5	2,4
Синтез гидрида магния с добавками в планетарной шаровой мельнице	3	3	4	4	3,4	3,4	С	С	1,7	1,7	2,5	2,5
Рентгенофазовый анализ образцов	0,3	0,3	1	1	0,58	0,58	О2	О2	0,58	0,58	0,85	0,85
Сканирующий электронный микроскоп	0,2	0,2	0,5	0,5	0,32	0,32	О3 , С	О3 , С	0,16	0,16	0,23	0,23
ТГА	1	5	10	10	4,6	7	О4 , С	О4 , С	2,3	3,5	3,4	5,2
ТДС	1	1	3	3	1,8	1,8	С, О1	С, О1	0,9	0,9	1,3	1,3
Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	10	10	20	20	14	14	С	С	14	14	20,7	20,7
Составление пояснительной записки	15	15	20	20	17	17	С	С	17	17	25,2	25,2
Итого:											103,9	105,6

В таблице 19 представлена длительность работ для каждого исполнителя.

Таблица 19 – Длительность работ в рабочих днях для каждого исполнителя

Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях	
	Исп. 1	Исп. 2
Руководитель	3,13	3,13
Студент	100,76	102,46
Оператор 1	3,8	3,7
Оператор 2	0,85	0,85
Оператор 3	0,23	0,23
Оператор 4	3,4	5,2

Календарный план-график проведения НИОКР по теме представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{ки} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ													
				Сен.		Окт.		Нояб.		Мар.			Апр.			Май	
				т								
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2,1														
2	Обзор научной литературы	С	35,5														
3	Календарное планирование работ по теме	Р, С	1,03														
4	Подготовка порошков в планетарной шаровой мельнице	С	8,6														

Расчет материальных затрат приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Порошок магния МПФ-4	г	10	0	4	0	40	0
Порошок Ni	г	0	5	0	100	0	500
Халат	шт	1	1	500	500	500	500
Перчатки	шт	1	1	250	250	250	250
Спирт	л	1	1	67	67	67	67
Респиратор	шт	1	1	1000	1000	1000	1000
Итого:						957	1417

В таблице 22 представлено количество дней для расчета амортизации, за которое эксплуатировалось оборудование в соответствии с таблицей 22.

Таблица 22 – Количество дней эксплуатации оборудования

Наименование оборудования	Время эксплуатации, дни
Шаровая мельница АГО-2	8,6
Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	4,9
Персональный компьютер	82,43

В таблице 23 представлены затраты на спецоборудование. В настоящей работе в качестве оборудования был использован персональный компьютер и лабораторные установки, которые имеются на базе лабораторий ТПУ, поэтому

стоимость учитывается в виде амортизационных отчислений, рассчитанных линейным способом на время выполнения проекта.

Таблица 23 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

Наименование оборудования	Стоимость, тыс. руб.	Срок службы, лет	Амортизационные отчисления, руб.
Шаровая мельница АГО-2	500	15	785
Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	9900	20	6643
Персональный компьютер	50	5	2258
Итого:			9686

Оклад научного руководителя (доцент, к.т.н.) – 37700 руб. Оплата труда студента (ставка техника) – 16100 руб. Оплата труда оператора рентгена (научный сотрудник, кандидат технических наук) – 30300 руб. Оплата труда оператора СЭМ (научный сотрудник, кандидат технических наук) – 30300 руб. Оплата труда оператора GRC (младший научный сотрудник) – 23800 руб.

Основная заработная плата:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p;$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d};$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: $M=11,2$ месяца при 5-дневной рабочей неделе; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени работника, раб. дн. Расчет

действительного годового фонда рабочего времени для всех исполнителей представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Операторы
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	118	118	118
– Выходные дни			
– Праздничные дни			
Потери рабочего времени:	24	24	24
– Отпуск			
– Невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}};$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{внеб}}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, на 2023 год составляет 30 %. Далее приведен расчет для руководителя в случае исполнения 1:

$$З_{\text{м}} = 37700 \cdot 1,3 = 49010 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{49010 \cdot 11,2}{223} = 2461,49 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}} = 2461,49 \cdot 3,13 = 7704,46 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{внеб}} = 7704,46 \cdot 0,3 = 2300,34 \text{ руб.}$$

Дальнейшие расчеты проводились аналогично, результаты расчетов для всех исполнителей представлены в таблице 25 для первого исполнения и в таблице 26 для второго исполнения.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды для исполнения 1.

Исполнители	З _{тс} , руб.	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб, дни	З _{осн} , руб.	З _{внеб} , руб.
Руководитель	37700	1,3	49010	2461,49	3,13	7704,46	2300,34
Студент	16100	1,3	20930	808,61	100,76	81475,54	24442,66
Оператор рентген	30300	1,3	39390	1978,33	3,8	7517,66	2255,29
Оператор СЭМ	30300	1,3	39390	1978,33	0,85	1681,58	504,47
Оператор GRC	23800	1,3	30940	1553,94	0,23	357,41	107,22
Оператор ТГА	30300	1,3	39390	1978,33	3,4	6726,33	2017,90
Итого:						105462	31627

Таблица 26 – Расчет основной заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды для исполнения 2.

Исполнители	З _{тс} , руб.	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб, дни	З _{осн} , руб.	З _{внеб} , руб.
Руководитель	37700	1,3	49010	2461,49	3,13	7704,46	2300,34
Студент	16100	1,3	20930	808,61	102,46	82850,18	24855,05
Оператор рентген	30300	1,3	39390	1978,33	3,7	7319,82	2195,94
Оператор СЭМ	30300	1,3	39390	1978,33	0,85	1681,58	504,47
Оператор GRC	23800	1,3	30940	1553,94	0,23	357,41	107,22
Оператор ТГА	30300	1,3	39390	1978,33	5,2	10287,32	3086,19
Итого:						110200	33049

Таким образом, бюджет затрат НТИ представлен в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2
Материальные затраты НТИ	957	1417
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	9686	9686
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	105462,98	110200,77
Отчисления во внебюджетные фонды	31627,88	33049,21
Накладные расходы (к _{нр} =16%)	23637,42	24696,48
Бюджет затрат НТИ	171371	179049

Таким образом, затраты НТИ для первого исполнения меньше чем для второго, далее будет определена эффективность.

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности НИР получают в ходе оценки бюджета затрат двух или более вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп. } 1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{171371,28}{179049,46} = 0,9571;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп. } 2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{179049,46}{179049,46} = 1;$$

где Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

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

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

где a_i – весовой коэффициент разработки; b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя проводился с помощью таблицы 28.

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
Температура десорбции	0,3	5	4
Переработка отходов	0,1	5	1
Дешевизна исходных материалов	0,2	3	3
Длительность процесса подготовки реагентов	0,4	5	1

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,4 \cdot 5 = 4,6;$$

$$I_{p2} = 2,3;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{исп.i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p\text{ исп1}}}{I_{финр\text{ исп.1}}}, I_{исп2} = \frac{I_{p\text{ исп2}}}{I_{финр\text{ исп.2}}};$$

$$I_{исп1} = \frac{4,6}{0,9571} = 4,806;$$

$$I_{исп2} = \frac{2,3}{1} = 2,3;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта $\mathcal{E}_{\text{ср}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = \frac{4,806}{2,3} = 2,089;$$

Все вышеперечисленные показатели эффективности для двух вариантов исполнения работы представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9571	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	2,3
3	Интегральный показатель эффективности	4,806	2,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,089	1

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0Б91		ФИО Кенжиев Алан Александрович	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Изучение влияния содержания никеля и никель-хрома на накопление водорода в композитах на основе гидрида магния

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/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> композиты на основе мелкодисперсных порошков гидрида магния, никеля и хрома; <i>Область применения:</i> водородоаккумулирующие материалы, используемые в водородной энергетике для транспортировки водородного топлива; <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> планетарная шаровая мельница АГО-2, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller(включает в себя: ПЭВМ, генератор водорода HyGen 600, высокотемпературная печь SAFTherm Sante Furnace 30–3000°C, турбомолекулярный насос, блок управления), герметичный перчаточный бокс ГБ02М, лабораторные весы <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> изучение источников литературы, изготовление композитов на основе мелкодисперсных порошков при помощи планетарной шаровой мельницы и автоматизированного комплекса GRC, обработка полученных результатов с использованием ПЭВМ</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</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"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 27.12.2018) – ГОСТ 12.2.032-7 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.» – ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)»
<p>2. Производственная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Обоснование мероприятий по снижению воздействия 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственный фактор, связанный с чрезмерно высокой температурой материальных объектов (высокотемпературная печь) производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека; 2. Производственный фактор, связанный с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (работа с мелкодисперсными порошками); 3. Производственный фактор, связанный со световой средой. 4. Вещества, представляющие опасность при аспирации (мелкодисперсные порошки) 5. Производственный фактор, связанный с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения; 2. Повышенный уровень шума; 3. Длительное сосредоточенное наблюдение; 4. Монотонность труда, вызывающая монотонию; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: использование СИЗ органов дыхания, перчатки, тепловая изоляция высокотемпературной печи, шумовая изоляция планетарной шаровой мельницы, вентиляция;</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на атмосферу: выбросы парниковых газов (CO₂) при производстве водорода методом паровой конверсии метана. Воздействие на литосферу: нерастагающиеся компоненты полученных композитов на основе металлических порошков Воздействие на гидросферу: образование слабых, нерастворимых оснований при взаимодействии с водой</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Авария, вызванная взрывом газоносителей (баллонов) в рабочем помещении, связанная с неисправностью средств контроля и отдельных частей оборудования или неправильной эксплуатацией; Пожар, возникший в результате взрыва оборудования в ходе неправильной эксплуатации его отдельных частей; Наиболее типичная ЧС: – Взрыв</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	К.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кенжиев Алан Александрович		

Глава 5. Социальная ответственность

5.1 Введение

Раздел «Социальная ответственность» нацелен на разработку проектных решений, предотвращающих возникновение чрезвычайных ситуаций в производстве, а также на уменьшение воздействия отходов разного класса опасности на окружающую среду.

Объектом исследования являются композиты на основе гидрида магния с добавлением мелкодисперсных порошков: никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома. Соответственно, перспективной областью применения данного исследования является использование в водородной энергетике в качестве газоносителя для более безопасной транспортировки и использования водородного топлива.

Потенциальными потребителями данного исследования могут являться все компании, так или иначе связанные с транспортом на водородном топливе, авиация, железнодорожный транспорт, газотранспортные компании

Исследование проводилось в лабораторных условиях.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.2.1 Правовые норма трудового законодательства

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определено по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст. 102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [47].

Выполнение работ связано с воздействием вредных и (или) опасных факторов производственной среды, в связи с чем, работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие средства, в соответствии с главой 36 ст. 221 ТК РФ «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты» Трудовой кодекс Российской Федерации от

30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [47].

Поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности. Проведение всех видов инструктажа регистрируется в журнале. Работа в лаборатории с химическими реактивами, проводится только в вытяжных шкафах, также происходит осмотр оборудования, наведение порядка на рабочем месте, применение индивидуальных средств защиты по ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [48].

При проведении социальной оценки условий труда на рабочем месте, работник вправе обращаться к эксперту, проводящей специальную оценку условий труда с предложениями по осуществлению на его рабочем месте идентификации потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов и за получением разъяснений по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" [49].

5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Стол в рабочей зоне исследователя должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключая онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам. При выполнении работ в положении стоя рабочее место и оборудование должны гарантировать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15°. Для обеспечения удобного подхода к

столу или оборудованию должно быть предусмотрено пространство для стоп. В помещении должен быть организован воздухообмен. При работе с органами управления установки, все органы управления должны быть в зоне досягаемости моторного поля согласно ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя [50].

Персонал допускается к работе только в средствах индивидуальной защиты. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [51].

5.2.3 Методические рекомендации при работе в аналитических лабораториях

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03. «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)» [51] при работе в лабораториях необходимо соблюдение следующих требований:

- На работу в лаборатории принимаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории.
- Вновь поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после прохождения вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности.
- Периодический инструктаж должен проводиться на рабочем месте дважды в год.
- Все работающие в лаборатории должны быть обеспечены необходимой спецодеждой и средствами индивидуальной защиты.

5.3 Производственная безопасность

В процессе исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий этап работ может быть разделен на три основных этапа:

1) Подготовка сырья (гидрида магния) при помощи планетарной шаровой мельницы и автоматизированной установки GRC для дальнейшего изготовления образцов.

2) Синтез образцов в планетарной шаровой мельнице

3) Обработка результатов на персональном компьютере: анализ фазового состава, температуры десорбции (термогравиметрический анализ), определение размеров частиц композитов (СЭМ) и картированное распределение по элементам (ЭДС картирование), анализ площади поверхности (ВЕТ анализ), проведение термостимулированной десорбции (ТДС), расчет энергии активации.

5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

В таблице 30 представлены вредные и опасные факторы и регулирующие нормативные документы.

Таблица 30 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при выполнении НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
2	Производственный фактор, связанный с веществами, представляющими опасность при аспирации (мелкодисперсные порошки)	ГОСТР 58478-2019 «Руководство по применению критериев классификации опасности химической продукции по воздействию на организм» ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.Файл

Таблица 30.1 – Продолжение таблицы 30

3	Производственный фактор, связанный с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (работа с мелкодисперсными порошками);	ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.Файл
4	Производственные факторы связанные с акустическим колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума);	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23- 03-2003.
5	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения;	ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ. Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Технические условия.

5.3.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

В результате неполадок такого электрического оборудования, как высокотемпературная печь SAFTTherm Sante Furnace 30–3000°C и автоматизированной установки Gas Reaction Controller, которые являются объектом производственной среды, связанные с чрезмерно высокой температурой, способная вызвать ожоги тканей организма человека.

Конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать контакт его горючих частей с пожаровзрывоопасными веществами, если такой контакт может явиться причиной пожара или взрыва, а также исключать возможность соприкосновения работающего с горячими частями или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование, перегрев работающего. Если назначение производственного оборудования и условия его эксплуатации (например, использование вне производственных помещений) не могут полностью исключить контакт работающего с горячими его частями, то

эксплуатационная документация должна содержать требование об использовании средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [52–53].

5.3.3 Производственный фактор, связанный с веществами, представляющими опасность при аспирации (мелкодисперсные порошки)

При работе с мелкодисперсными порошками необходимо обязательное использование средств индивидуальной защиты дыхания во избежания попадания последних в дыхательные пути. Распыление таких порошков может оказывать неблагоприятное воздействие на слизистую человеку и провоцировать раздражение как дыхательных путей, так и оболочки глаз со слизистой носа.

Для обеспечения защиты от попадания на слизистую оболочку человека, основными средствами защиты выступают: СИЗ органов дыхания, резиновые/виниловые перчатки, защитные очки по ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [54].

5.3.4 Производственный фактор, связанный с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (работа с мелкодисперсными порошками)

При работе с мелкодисперсными порошками, становится затруднительным содержание рабочего помещения в чистоте в следствии осаждения мелких частиц порошка, с которым производится работа. Для предотвращения или уменьшения действия вредного фактора, установленного ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [54] необходимо использование вентиляционных систем, проведения влажной уборки производственного помещения, использование средств защиты во избежании вредного и опасного воздействия на организм человека.

5.3.5 Производственные факторы связанные с акустическим колебаниями в производственной среде

При работе в лаборатории с электрооборудованием и работе вентиляционных систем помещения, возникают звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, которые способны оказать вредное воздействие на безопасность и здоровья работника.

1. Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. по ГОСТ 12.1.003-2014 [55].

В таблице 31 представлены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях лаборатории.

Таблица 31 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях лаборатории по СП 51.13330.2011 [56].

Для источников постоянного шума									Для источников непостоянного шума		
Уровни звукового давления дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, скорректированный по А, L _A	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука, L _{Aэкв} , дБ	Максимальный скорректированный по А уровень звука, L _{Amax} , дБ
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	75	90

Уровень звука в лаборатории не превышает предельно допустимые уровни. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума СП 51.13330.2011 [56]. Средства индивидуальной защиты: беруши, наушники и т.д.

5.3.6 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения

Нехватка естественного света оказывает пагубное влияние на нервную систему человека, что может привести к психическим заболеваниям, при нехватке искусственного света человек ощущает апатию и депрессию.

Недостаток освещенности рабочего места пагубно сказывается на зрении человека, его концентрации и т.д. В темных помещениях человек испытывает усталость и сонливость, так как организм стремится уйти в сон. Также недостаточная освещенность ведет к развитию близорукости и дальнозоркости.

Основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей изложены в СП 52.13330.2016 [57]. Выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона по СП 52.13330.2016 [57].

Таблица 32 – Требования к освещению рабочего места

Характеристика зрительной работы	Искусственное освещение				Естественное освещение		Совмещенное освещение		
	Освещённость, лк		Сочетание нормируемых		КЕО, ен, %				
	При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения	Величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
	Всего	В том числе от общего		P	К _п , %				
1	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Средней точности	500	200	200	40	20	4	1,5	2,4	0,9

5.4 Экологическая безопасность

Атмосфера. Источником загрязнения являются выбросы парниковых газов (CO₂) при производстве водорода методом паровой конверсии метана (риформинг метана).

Должны соблюдаться требования нормативных актов, регулирующих отношения в области охраны атмосферного воздуха и выбора методики производства водорода для снижения вредоносного воздействия, регулирующие Федеральным законом "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999 N 96-ФЗ [58].

На риформинговых реакторах разрабатываются и выполняются мероприятия:

- по организации производственного экологического контроля;
- по регулированию выбросов в атмосферный воздух при неблагоприятных метеорологических условиях;
- по проверке эффективности работы газоочистного оборудования [58].

Гидросфера. При производстве в промышленном масштабе возможно загрязнение ближайших водоемов или водохранилищ в следствии попадания в них продукции с дальнейшим образованием слабых, нерастворимых оснований.

Должны соблюдаться требования нормативных актов, регулирующих отношения в области охраны водных ресурсов, которые устанавливает «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 28.04.2023) [59].

Для обеспечения безопасного пользования гидросферой применяются следующие мероприятия:

– оборудование отдельных систем хозяйственно-бытовой и ливневой канализации [59].

Литосфера. Основное воздействие при производстве продукции происходит от попадания последней в почву с неразлагающимися компонентами полученной продукции, в частности металлов.

При этом должны соблюдаться требования нормативных правовых актов, регулирующих отношения в области охраны земельных ресурсов и недр в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ [60].

На производстве должна вестись работа по охране земель от загрязнения, а также обеспечиваться рекультивация деградированных и загрязненных земель [60].

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ возможных ЧС

Авария. В случае отсутствия норм контроля за газоносителями, согласно ГОСТ ISO 11439-2014 «Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения на транспортном средстве природного газа как топлива» [61] вероятно возникновение аварии, связанной со взрывом баллонов и вытекающими из него последствиями, в частности: возникновение пожара,

разрушение части рабочего помещения или некоторой площади здания, гибель персонала и т. п.

Пожар. На производствах, связанных с использованием водорода и его газоносителей устанавливают требования по пожарной безопасности. Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [62] подобные зоны относят к категории пожароопасности А. Горючими материалами выступают: газ (водород). Источниками возгорания могут стать: водород (горючий газ), электрооборудование, проводка.

5.5.2 Наиболее вероятная ЧС

Взрыв. Водород является крайне летучим и взрывоопасным газом и, в случае не соблюдения мер безопасности и своевременного контроля оборудования при работе с ним и его газоносителями, вполне вероятно возникновение взрыва.

При работе с водородными баллонами и водородом необходимо:

- тщательно осматривать баллоны с водородом при их получении для укомплектования метеокомплекса. Не принимать баллоны с механическими повреждениями;
- в случае неисправности вентиля наполненного баллона отправить его на предприятие-наполнитель с надписью мелом: "ОСТОРОЖНО, ПОЛНЫЙ".
- не разбирать и не ремонтировать вентили баллонов своими силами;
- баллон с водородом переносить вдвоем, с надетым на вентиль предохранительным колпаком;
- поднимая или переворачивая баллон, не брать и не опирать его на вентиль, а также не задевать вентилем за препятствия;
- сберегать окраску баллона, не бросать, не ударять, не перекатывать баллон по мостовой или земле;

- перевозить только укомплектованные баллоны с заглушками на вентилях и с накрученными предохранительными колпаками;
- при транспортировании баллонов не грузить поверх них какие-либо предметы, при разгрузке не сбрасывать баллоны с автомашины или прицепа;
- защищать баллоны от прямых солнечных лучей;
- перед выпуском водорода из баллона (при наполнении оболочки) проверить состояние шланга, редуктора, заземление редуктора и шланга. Не применять дефектный шланг, а также не обматывать его изоляционной лентой;
- при отвинчивании предохранительного колпака баллона не ударять по ключу железными или стальными предметами или камнями. Использовать только омедненный молоток или деревянную колотушку;
- при наполнении оболочки вентиль баллона открывать медленным вращением во избежание стремительного выхода газа, способного сорвать оболочку с крана-гири;
- при выпуске водорода предохранять шланг от скручивания, перегибания и сплющивания, не убирать руку с вентиля крана для того, чтобы при разрыве оболочки или загорании водорода немедленно закрыть кран;
- после наполнения оболочки или полном выпуске водорода из баллона во избежание проникновения в баллон воздуха немедленно закрыть вентиль, навинтить заглушку и предохранительный колпак.

Внимание! При полном выпуске водорода из баллона остаточное давление газа в баллоне должно быть не менее 0,5 кгс/см². На опорожненном баллоне у горловины мелом нанести ноль (0) - баллон пустой [63].

5.6 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации

влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности [64]. Категория помещения по пожаробезопасности соответствует категории А – «повышенная взрывопожароопасность» [62]. Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» [64]. Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [64].

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [65]. Помещение лаборатории категории помещения группы А, возможный класс пожара А. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа [61].

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории установленными Федеральным законом "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ [59].

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что были изучены свойства композитов на основе гидрида магния с добавлением мелкодисперсных порошков: никеля, нано-никеля и нано-никель-хрома, которые были синтезированы методом шарового измельчения. Была продемонстрирована микроструктура и свойства гидрирования/дегидрирования композитов на основе гидрида магния и показано влияние различных добавок на температуру десорбции. С помощью сканирующей электронной микроскопии было показано, что композит представляет собой частицы MgH_2 с равномерным распределением частиц никеля, наноразмерного никеля и наноразмерного никель-хрома на их поверхности.

Основываясь на результатах экспериментов, добавление именно порошка нано-никеля способствовало улучшению десорбционных характеристик MgH_2 . Композит MgH_2 -nNi (20 масс. %) демонстрирует более низкую температуру десорбции и составляет $229^\circ C$ при скорости нагрева 6 К/мин. Однако количество водорода, содержащегося в композите MgH_2 -nNi (20 масс. %), было ниже, чем для чистого MgH_2 . Согласно графику Киссинджера, рассчитанная энергия активации E_d для образца MgH_2 -nNi (20 масс. %) составила 155 ± 2 кДж/моль, что указывает на то, что наноразмерные частицы никеля эффективно способствовали кинетике десорбции водорода в гидриде магния, энергия активации чистого гидрида составила 42 ± 1 кДж/моль. Предполагается, что снижение энергии активации диссоциации гидрида магния при добавлении порошка нано-никеля может быть связано с тем, что осаждение наночастиц никеля на частицах гидрида магния снижает энергию связи водорода.

В данной работе используется микроструктура "ядро-оболочка", составленная в подобие агломератов, которая играет положительную роль в эффективности хранения водорода в магнии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Надольский Д. С., Зиннатуллина Л. Р., Медведева Н. А. Водородаккумулялирующие материалы //Вестник Пермского университета. Серия: Химия. – 2019. – Т. 9. – №. 2. DOI: 10.17072/2223-1838-2019-2-106-125
2. Михеева, В. И. Гидриды редкоземельных металлов / В. И. Михеева, М. Е. Кост // Успехи химии. — 1960. — Т. 29, вып. 1. — С. 55–73.
3. Shelyapina M. G. Hydrogen Diffusion on, into and in Magnesium Probed by DFT: A Review //Hydrogen. – 2022. – Т. 3. – №. 3. – С. 285-302.
4. Shelyapina, M.G. Metal hydrides for energy storage. In Handbook of Ecomaterials; Martínez, L., Kharissova, O., Kharisov, B., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 775–810, ISBN 978-331968255-6.
5. Landolt-Börnstein-Group IV Physical chemistry. In Thermodynamic Properties of Inorganic Materials. Pure Substances. Part 4_Compounds from HgH_g to ZnTe_g; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2001; Volume 19A4, ISBN 978-3-540-41025-6.
6. Barkhordarian G., Klassen T., Bormann R. Catalytic mechanism of transition-metal compounds on Mg hydrogen sorption reaction //The Journal of Physical Chemistry B. – 2006. – Т. 110. – №. 22. – С. 11020-11024.
7. Li J. et al. Catalysis and downsizing in Mg-based hydrogen storage materials //Catalysts. – 2018. – Т. 8. – №. 2. – С. 89.
8. Jensen T. R. et al. Dehydrogenation kinetics of pure and nickel-doped magnesium hydride investigated by in situ time-resolved powder X-ray diffraction //International Journal of Hydrogen Energy. – 2006. – Т. 31. – №. 14. – С. 2052-2062.
9. Fernandez J. F., Sanchez C. R. Rate determining step in the absorption and desorption of hydrogen by magnesium //Journal of Alloys and Compounds. – 2002. – Т. 340. – №. 1-2. – С. 189-198.

10. Karty A., Grunzweig-Genossar J., Rudman P. S. Hydriding and dehydriding kinetics of Mg in a Mg/Mg₂Cu eutectic alloy: Pressure sweep method //Journal of Applied Physics. – 1979. – T. 50. – №. 11. – C. 7200-7209.
11. Pedersen A. S. et al. The formation of hydride in pure magnesium foils //Journal of the Less Common Metals. – 1987. – T. 131. – №. 1-2. – C. 31-40.
12. Huot J. et al. Structural study and hydrogen sorption kinetics of ball-milled magnesium hydride //Journal of Alloys and Compounds. – 1999. – T. 293. – C. 495-500.
13. Mintz M. H., Gavra Z., Hadari Z. Kinetic study of the reaction between hydrogen and magnesium, catalyzed by addition of indium //Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry. – 1978. – T. 40. – №. 5. – C. 765-768.
14. Han J. S., Pezat M., Jai-Young L. A study of the decomposition of magnesium hydride by thermal analysis //Journal of the Less Common Metals. – 1987. – T. 130. – C. 395-402.
15. Pedersen A. S. et al. Magnesium for hydrogen storage //International Journal of Hydrogen Energy. – 1983. – T. 8. – №. 3. – C. 205-211.
16. Friedlmeier G., Groll M. Experimental analysis and modelling of the hydriding kinetics of Ni-doped and pure Mg //Journal of Alloys and compounds. – 1997. – T. 253. – C. 550-555.
17. Martin M. et al. Absorption and desorption kinetics of hydrogen storage alloys //Journal of Alloys and Compounds. – 1996. – T. 238. – №. 1-2. – C. 193-201.
18. Liang G, Huot J, Boily S, Schulz R. J Alloys Compd 2000;305:495.
19. Liang G. et al. Hydrogen storage properties of the mechanically milled MgH₂-V nanocomposite //Journal of Alloys and Compounds. – 1999. – T. 291. – №. 1-2. – C. 295-299.
20. Barkhordarian G., Klassen T., Bormann R. Effect of Nb₂O₅ content on hydrogen reaction kinetics of Mg //Journal of Alloys and Compounds. – 2004. – T. 364. – №. 1-2. – C. 242-246.

21. Huot J. et al. Investigation of dehydrogenation mechanism of MgH₂-Nb nanocomposites //Journal of Alloys and Compounds. – 2003. – T. 348. – №. 1-2. – C. 319-324.
22. Delchev P. et al. Direct hydriding of Mg₈₇Al₇Ni₃Mn₃ by reactive mechanical milling in hydrogen atmosphere and influence of particle size on the dehydriding reaction //Journal of alloys and compounds. – 2005. – T. 388. – №. 1. – C. 98-103.
23. Andreasen A. et al. Dehydrogenation kinetics of air-exposed MgH₂/Mg₂Cu and MgH₂/MgCu₂ studied with in situ X-ray powder diffraction //Applied Physics A. – 2006. – T. 82. – №. 3. – C. 515-521.
24. Andreasen A. et al. Interaction of hydrogen with an Mg-Al alloy //Journal of alloys and compounds. – 2005. – T. 404. – C. 323-326.
25. Varin R. A. et al. Catalytic effects of various forms of nickel on the synthesis rate and hydrogen desorption properties of nanocrystalline magnesium hydride (MgH₂) synthesized by controlled reactive mechanical milling (CRMM) //Journal of alloys and compounds. – 2007. – T. 432. – №. 1-2. – C. 217-231.
26. Doppiu S., Schultz L., Gutfleisch O. In situ pressure and temperature monitoring during the conversion of Mg into MgH₂ by high-pressure reactive ball milling //Journal of alloys and compounds. – 2007. – T. 427. – №. 1-2. – C. 204-208.
27. Liang G. et al. Catalytic effect of transition metals on hydrogen sorption in nanocrystalline ball milled MgH₂-Tm (Tm= Ti, V, Mn, Fe and Ni) systems //Journal of Alloys and Compounds. – 1999. – T. 292. – №. 1-2. – C. 247-252.
28. Shang C. X. et al. Mechanical alloying and electronic simulations of (MgH₂+ M) systems (M= Al, Ti, Fe, Ni, Cu and Nb) for hydrogen storage //International Journal of Hydrogen Energy. – 2004. – T. 29. – №. 1. – C. 73-80.
29. Handbook A. S. M. S. Magnesium and magnesium alloys //ASM international. – 1999. – C. 106-118.
30. Jordan L., Swanger W. H. The properties of pure nickel //Bur. Stand. J. Res. – 1930. – T. 5. – №. 6. – C. 1291-1307.

31. Singh S. K. et al. The hydrogenation behaviour of RNi5 type materials in thin film and bulk form //International journal of hydrogen energy. – 1989. – Т. 14. – №. 8. – С. 573-577.
32. Осипов Б. Р. и др. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ МАГНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ. – 1996.
33. Kudiiarov, V. N. et al. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2013. – Т. 740. – С. 690-693.
34. Анализатор водорода RHEN-602 (LECO) / [Электронный ресурс] // Сибирь-Комплект : [сайт]. — URL: https://kom-sib.ru/catalog/oborudovanie_analiticheskoe_1561/analizator_vodoroda_rhen_602_leco/ (дата обращения: 09.01.2023).
35. Зибров М. С. и др. О возможности определения энергии связи водорода с дефектами по термодесорбционным измерениям с различными скоростями нагрева //ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез. – 2015. – Т. 38. – №. 1. – С. 32-41.
36. Чернов И. А. Математическое моделирование взаимодействия водорода с твердым телом (термодесорбционная спектроскопия) //Москва: Российская государственная библиотека. – 2004. – 15 с.
37. Исхакова С. С. и др. Термодесорбционный спектрометр труднолетучих активных органических соединений //Письма в Журнал технической физики. – 2020. – Т. 46. – №. 24. – С. 23-26.
38. Никитенков Н. Н. Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики //Томский политехнический университет. – 2013. – 203 с.
39. King D. A. Thermal desorption from metal surfaces: A review //Surface Science. – 1975. – Т. 47. – №. 1. – С. 384-402.
40. Habenschaden E., Küppers J. Evaluation of flash desorption spectra //Surface science letters. – 1984. – Т. 138. – №. 1. – С. 1147-1150.

41. Ehsasi M., Christmann K. The interaction of hydrogen with a rhodium (110) surface //Surface Science. – 1988. – Т. 194. – №. 1-2. – С. 172-198.
42. Воробьев Р. А. и др. Способ количественной оценки пережога в деформируемых термоупрочняемых алюминиевых сплавах с помощью EDS-анализа. – 2019.
43. Lane D. W., Nyombi A., Shackel J. Energy-dispersive X-ray diffraction mapping on a benchtop X-ray fluorescence system //Journal of Applied Crystallography. – 2014. – Т. 47. – №. 2. – С. 488-494.
44. Рентгеновский аналитический микрозонд-микроскоп РАМ-30μ / [Электронный ресурс] // Гранат : [сайт]. — URL: http://granate.ru/microzond_ram-30m.html
45. Hwang N., Barron A. R. BET surface area analysis of nanoparticles //The connexions project. – 2011. – С. 1-11.
46. "Статья 102 ТК РФ. Работа в режиме гибкого рабочего времени." от 01.03.2023 № 193-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2023 г. - с изм. и допол. в ред. от 19.12.2022.
47. "ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)" от 04.09.2003 // Официальный интернет-портал правовой информации. - с изм. и допол. в ред. от 04.09.2003.
48. "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 № 426-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации.
49. ГОСТ С. 12.2. 033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) //Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
50. ПНД Ф. 12.13. 1-03 Методические рекомендации //Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – 2003. – Т. 3. – С. 25.05.
51. ГОСТ С. 12.2. 003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» //М.: Издательство стандартов. – 1992.

52. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. Файл
53. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности
54. "СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1)" от 20.05.2011 // Официальный интернет-портал правовой информации. - с изм. и допол. в ред. от 05.05.2017.
55. " СП 52.13330.2016 СВОД ПРАВИЛ. ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. Daylighting and artificial lighting. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*" от 08.05.2017 // Официальный интернет-портал правовой информации
56. "Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха"" от 04.05.1999 № 96-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации
57. "Водный кодекс Российской Федерации" от 03.06.2006 № 74-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. - с изм. и допол. в ред. от 28.04.2023.
58. "Федеральный закон "Об охране окружающей среды"" от 10.01.2002 № 7-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации
59. "ГОСТ ISO 11439-2014 «Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения на транспортном средстве природного газа как топлива. Технические условия. Gas cylinders. High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel. Specifications» " от 01.08.2016 // Официальный интернет-портал правовой информации.
60. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
61. РУДИАНОВ Г. В. и др. Тренажер оператора радиопеленгационного метеорологического комплекса.
62. МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности

63. Справочная информация: "Правила устройства электроустановок (ПУЭ)
64. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
65. Rahmalina D. et al. Experimental Evaluation for the Catalytic Effect of Nickel in Micron Size on Magnesium Hydride //WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. – 2021. – Т. 16. – С. 293-302.
66. Varin R. A. et al. Catalytic effects of various forms of nickel on the synthesis rate and hydrogen desorption properties of nanocrystalline magnesium hydride (MgH₂) synthesized by controlled reactive mechanical milling (CRMM) //Journal of alloys and compounds. – 2007. – Т. 432. – №. 1-2. – С. 217-231.
67. E. Ivanov, I. Konstanchuk, A. Stepanov, V. Boldyrev, J. Less-Common Met. 131 (1987) 25–29.
68. Huot J., Akiba E., Takada T. Mechanical alloying of MgNi compounds under hydrogen and inert atmosphere //Journal of Alloys and Compounds. – 1995. – Т. 231. – №. 1-2. – С. 815-819.
69. Tessier P., Akiba E. Catalysed reactive milling //Journal of alloys and compounds. – 1999. – Т. 293. – С. 400-402.
70. Doppiu S. et al. Thermodynamic properties and absorption–desorption kinetics of Mg₈₇Ni₁₀Al₃ alloy synthesised by reactive ball milling under H₂ atmosphere //Journal of Alloys and Compounds. – 2005. – Т. 404. – С. 27-30.
71. Doppiu S., Schultz L., Gutfleisch O. In situ pressure and temperature monitoring during the conversion of Mg into MgH₂ by high-pressure reactive ball milling //Journal of alloys and compounds. – 2007. – Т. 427. – №. 1-2. – С. 204-208.
72. Liang G. et al. Catalytic effect of transition metals on hydrogen sorption in nanocrystalline ball milled MgH₂–Tm (Tm= Ti, V, Mn, Fe and Ni) systems //Journal of Alloys and Compounds. – 1999. – Т. 292. – №. 1-2. – С. 247-252.

73. Shang C. X. et al. Mechanical alloying and electronic simulations of (MgH₂+ M) systems (M= Al, Ti, Fe, Ni, Cu and Nb) for hydrogen storage //International Journal of Hydrogen Energy. – 2004. – T. 29. – №. 1. – C. 73-80.

74. Jensen T. R. et al. Dehydrogenation kinetics of pure and nickel-doped magnesium hydride investigated by in situ time-resolved powder X-ray diffraction //International Journal of Hydrogen Energy. – 2006. – T. 31. – №. 14. – C. 2052-2062.

75. Ma Z. et al. Air-stable magnesium nickel hydride with autocatalytic and self-protective effect for reversible hydrogen storage //Nano Research. – 2022. – C. 1-8.