

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

Школа Инженерная школа энергетики
Отделение ОЭЭ
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Закономерности накопления водорода и дефектов в сплавах на основе интерметаллического соединения TiCr₂

УДК669.295.019:661.96:621.351

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Аплин Р.Д.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Р.С	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.экон наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Атепаева Н.А.	Ст.преподаватель		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Завьялов В.М.	д-р.техн.наук.		

Томск-2019 г

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

По основной образовательной программе высшего профессионального образования,
направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника,
квалификация - магистр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
P1	Способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере.
P3	Способность применять на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Способность использовать методологические основы научного познания и творчества, научную информацию в развитии отрасли, навыки проведения работ с использованием современных информационных технологий; синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Способность применять углубленные естественнонаучные, математические, социальноэкономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Способность ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности
P7	Способность выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Способность выполнять инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Способность проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Способность проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.

P11	Способность осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Способность разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ7В	Аплину Р.Д.

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материалов. 2. Амортизационные отчисления оборудования. 3. Зарботная плата руководителя проекта. 4. Зарботная плата исполнителей проекта.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Нормы рабочего времени, выполнения проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Ставка налога отчисления во внебюджетные фонды. 2. Процент дополнительной зарботной платы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Оценка конкурентоспособности проекта. 2. Планирование работ в течении осуществления проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Планирование и расчет бюджета научной-исследовательской работы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение эффективности и перспектив научного исследования.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 6. Сравнительная эффективность разработки	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.экон.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Аплин Р.Д.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ7В	Аплину Р.Д.

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема дипломной работы: закономерности накопления водорода и дефектов в сплавах на основе интерметаллического соединения TiCr₂

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является соединение TiCr ₂ с целью его дальнейшего использования в качестве материала для хранения водорода
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03; Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Превышение уровня шума; 2. Отклонение показателей микроклимата; 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 6. Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ Мероприятиями по снижению воздействия выступают: 1. Наличие электроизоляции установок; 2. Применение СИЗ и СКЗ;
3. Экологическая безопасность:	TiCr ₂ не токсичен, однако в процессе его подготовки необходим отдельный сбор мусора с целью дальнейшей переработки.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возникновение пожара и взрыва. Мероприятия: • использование только исправного оборудования; • проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности; • отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ; • содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Н.А..	нет		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Аплин Р.Д.		

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования Магистр
Отделение школы (НОЦ) Технологии водородной энергетики
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
02.05.2019	Обзор литературы	20
06.05.2019	Объект и методы исследования	25
13.05.2019	Расчет и аналитический анализ	25
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2019	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Р.С	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Завьялов В.М.	д-р.техн.наук.		

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки Электротехника и электротехника
Отделение школы (НОЦ) Технология водородной энергетики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Завьялов В.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ7В	Аплин Р.Д.

Тема работы:

Закономерности накопления водорода и дефектов в сплавах на основе интерметаллического соединения TiCr₂	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исходный материал: Порошки титана (99%) и хрома (99,8%), необходимая материально-техническая база, необходимая литература Целью работы является исследование интерметаллического соединения TiCr ₂ : его исходной дефектной структуры до наводороживания и исследование его дефектов после наводороживания.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор, включающий физические основы методов позитронной спектроскопии. 2. Расчет пробега позитронов с помощью программы LYS. 3. Исследование дефектной структуры TiCr₂, до наводороживания и после, методом позитронной спектроскопии. 4. Определение типа и концентрации дефектов методами позитронной спектроскопии. 5. Исследование зависимости изменения аннигиляционных характеристик образцов сплава TiCr₂ после наводороживания. 6. Анализ полученных результатов.

Перечень графического материала	Графики зависимости характеристики позитронной аннигиляций
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Доцент ОЭФ Лаптев Р.С.
Материал и методы исследования	Доцент ОЭФ Лаптев Р.С.
Результаты эксперимента	Доцент ОЭФ Лаптев Р.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН Подопригора И.В..
Социальная ответственность	Старший преподаватель ШБИП Атепаева Н.А..
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Лаптев.Р.С	к.т.н., Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Аплин Р.Д.		

Приложение А

Глава №2 Theoretical part

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Аплин Р.Д.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. ОЭФ	Лаптев Р.С	к.т.н, доцент		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Токмашев Д.М.	к.фил.н, доцент		



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

Школа Инженерная школа энергетики

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

**ОТЧЕТ О РАБОТЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ
КОМИССИИ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ (СПЕЦИАЛЬНОСТИ)**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления (специальности))

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ (ПРОФИЛЬ)

магистр

(наименование специализации/профиля)

Форма подготовки

очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Уровень подготовки

магистратура

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Реферат

Выпускная квалификационная работа 107 с., 25 рисунков, 21 таблица, 107 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: интерметаллическое соединения, наводороживание, поглощение водорода, позитронная спектроскопия, дислокации, дефекты, водородное охрупчивание.

Объектом исследования являются образцы сплава TiCr_2 .

Цель работы – исследование закономерностей изменения дефектной структуры сплава TiCr_2 после наводороживания.

В результате исследования были получены спектры временного распределения аннигиляционных позитронов интерметаллического соединения TiCr_2 при различных температурах отжига.

Определена температура отжига, при которой тривакансии и дислокации полностью удаляются, что в свою очередь позволило выбрать температуру дальнейшего наводороживания. Наводороживание приводит к существенным изменениям временного и импульсного распределения аннигиляции позитронов.

В первой главе описаны особенности хранения водорода

Во второй главе представлены материал и методы исследования.

Третья глава посвящена применению позитронной спектроскопии для сплава TiCr_2 и результаты изменения позитронной аннигиляционных характеристик после наводороживания.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013.

Оглавление

Введение	15
Глава 1. Теоретическая часть.....	20
1.1. Проблемы хранения водорода	20
1.2. Анализ материалов для хранения водорода в интерметаллических соединениях	23
1.2.1. Классификация сплавов-накопителей водорода.....	23
1.2.2. Сплавы – накопители водорода.....	25
1.3. Интерметаллическое соединение $TiCr_2$	28
1.4. Синтез интерметаллических соединений	30
1.5. Утверждение темы работы, ее актуальность.....	33
Глава 2. Материалы и методы исследования	35
2.1. Материалы	35
2.2. Плавление в плазме аномального тлеющего разряда.....	35
2.3. Спектрометрия временного распределения аннигиляции позитронов	36
2.3.1. Физические основы и экспериментальные методы позитронной спектроскопии	37
2.3.2. Захват позитронов.....	39
2.3.3. Спектрометр времени жизни позитронов	40
2.3.3.1. Принцип работы спектрометра для измерения времени жизни позитронов	41
2.4. Насыщение водородом из газовой среды	43
2.4.1. Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB.....	43
2.4.1.1. Принцип работы комплекса.....	43
2.4.1.2. Конструкция и основные компоненты	44
Глава 3. Исследование исходной дефектной структуры порошка магния до наводороживания	45
3.1. Расчет пробега позитронов и разработка методики спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов в порошке интерметаллического соединения $TiCr_2$	45
3.2. Исследование временного распределения аннигиляции позитронов в интерметаллическом соединении $TiCr_2$ в зависимости от температуры отжига	49
3.3. Определение основных типов дефектов	50

3.4 Исследование временного распределения аннигиляции позитронов в интерметаллическом соединении TiCr_2 в зависимости от циклов сорбции\десорбции.	52
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования	55
4.2. Анализ конкурентных технических решений	56
4.3 SWOT-анализ	57
4.4 План проекта.....	58
4.5. Бюджет научного исследования	60
4.6. Основная заработная плата	61
4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	63
4.8. Оценка сравнительной эффективности исследования	64
Глава 5. Социальная ответственность	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	67
5.2 Производственная безопасность.....	68
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	69
5.3.1 Превышение уровня шума	70
5.3.2 Отклонение показателей микроклимата.....	70
5.3.3 Электромагнитное излучение	71
5.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	73
5.3.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	76
5.3.6 Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ	77
5.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	77
5.5 Экологическая безопасность.....	78
5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
Заключение.....	82
Список используемой литературы	84
Приложение А.....	94

Введение

Водородная энергия представляет собой большое потенциальное решение для удовлетворения глобального спроса на энергию. Развитие водородной энергия может привести совсем к другой жизни в мире, в котором устранены или сведены к минимуму наши связанные с энергетикой выбросы и другие проблемы экологического ущерба.

С развитием водородной энергетики будет обеспечен наш спрос на доступную, эффективную, надежную и экологически чистую энергию. Чтобы полностью понять «водородную энергию», необходимо понять все аспекты водорода от его характерных свойств до отличия от существующих топлив.

Ключевым преимуществом водорода является то, что он может быть получен из различных источников, включая ископаемое топливо, ядерную энергию, биомассу и возобновляемую энергию. Помимо этого, водородная энергетика относится к альтернативной энергетике, применение которой является экологически чистым.

Перспективы водородной энергии, необходимость ее развития, потенциал данного направления описывается в различных статьях[1],[2].

Прежде всего, использование водорода в качестве универсального топлива обусловлено такими факторами:

1. Основное "месторождение" – вода, разложение молекул которой дает чистый водород. Источниками водорода могут являться уголь, газ, биомасса – как отходов, так и живых растений. У некоторых представителей группы зелёных водорослей, например, *Chlamydomonas reinhardtii*, при нехватке кислорода и серы резко ослабевают процессы фотосинтеза, и запускается бурная выработка водорода. Этот эффект обнаружил в конце 90-х годов прошлого века исследователь из Беркли, Анастасиос Мелис.

2. Водород имеет довольно высокую удельную теплоту сгорания – 140МДж/кг, что значительно выше, чем у любого другого углеводородного топлива.

3. В результате сгорания водорода с доступом кислорода образуется опять же вода, т.е. побочных продуктов сгорания нет, нет ни сгоревших частиц пепла, загрязняющих атмосферу, ни выбросов вредных газообразных соединений типа углекислого газа (парниковых газов).

Взяв к вниманию хотя бы эти преимущества водорода уже можно без доли сомнения утверждать, что у водорода огромные перспективы, и в первую очередь – в качестве источника энергии. Мировая промышленность не обходит эти преимущества водорода стороной: производство водорода ведется уже достаточно давно. Водород используется не только для потребностей отдельных производств (например, аммиака, метанола, мыла и пластмасс, маргарина из жидких растительных масел, упаковочного газа, для атомно-водородной сварки), но и в качестве энергоносителя – и в виде топливных элементов и как непосредственного топлива, в частности, ракетного, а в последние годы – топлива для легкового, грузового и пассажирского транспорта.

Одной из наиболее актуальных проблем при применении водорода в качестве топлива является его хранения и транспортировка. Это связано с его низкой плотностью ($0,09 \text{ кг/м}^3$), взрывоопасностью (образование взрывоопасной смеси – гремучего газа при смеси с воздухом или с кислородом) и способностью проникать практически через любые материалы (из-за малого размера атома) [1,3-6].

Один из способов хранения и транспортировки водорода является его помещение в газобаллонные системы. Но данный вид хранения имеет большие недостатки. В первую очередь это связано с малой плотностью водорода и при хранении его в газобаллонных системах под давлением создает такие проблемы как: большой удельный вес, который ограничивает их использование (например, в транспорте) и повышенное давление (до 30 МПа), что требует повышенных мер безопасности. [3],

Следующий способ хранения водорода – в жидком состоянии, так же имеются специфические требования: применение высокоэффективной

теплоизоляции или термостатирование данного объема. Такое хранение представляет лучший вариант в отношении снижения массы топлива и повышения плотности энергии (в настоящее время запас хода автомобилей на одну заправку бака составляет около 300 км). Однако очень низкая температура хранения (-253°C) требует высокой степени теплоизоляции бака, что вызывает некоторые проблемы и возникают значительные потери при малой теплоизоляции, а также требуется очень высокие затраты энергии на сжижение водорода

В нашей работе будет рассматриваться третий способ хранения водорода – металлгидридный метод, т.е. хранение водорода в связанном состоянии в виде гидридов металлов, интерметаллических соединений (ИМС) или сплавов на их основе. Общее название таких материалов – сплав-накопитель водорода (СНВ).

Данный метод является перспективным и требует особого внимания, чтобы в будущем иметь возможность его использования. Суть данного способа хранения водорода заключается в следующем. В емкости, предназначенные для хранения, помещают специально подобранные сплавы некоторых металлов, которые обладают свойством при определенных условиях (давлениях и температурах) подобно губке поглощать водород, превращаясь при этом в гидрид. При изменении параметров (повышении температуры или давления) гидрид вновь распадается, высвобождая водород.

Основными показателями, определяющими конкурентоспособность такого способа по сравнению с другими, являются:

- отношение полезного веса водорода к весу устройства;
- обратимость процесса и отсутствие технических трудностей при высвобождении водорода и внедрение в «водородный аккумулятор»;
- возможность многократного использования;
- возможность придания «аккумулятору», содержащему связанный водород, произвольной формы, не превышающей габариты основной конструкции;

- безопасность работы с таким способом хранения водорода;
- экономичность способа.

Перспективными материалами-накопителями водорода являются ИМС типа AB_2 со структурой фаз Лавеса. Среди них большое внимание привлекают к себе интерметаллическое соединение $TiCr_2$ и сплавы на его основе. Это связано с тем, что данные материалы имеют невысокую стоимость, высокую сорбционную емкость, способность обратимо взаимодействовать с водородом в необходимом диапазоне температур и давлений, и хорошую кинетику взаимодействия с водородом [9-11].

Важным этапом при исследовании СНВ является их получение, так как качество сплава оказывает большое влияние на его свойства. Самым распространенным методом получения СНВ является дуговая плавка [12-18]. На практике также часто используют индукционную плавку [19-22], механосинтез [23-26]. Однако синтез материалов данными методами, сплав часто содержит несколько фаз одновременно и загрязняется посторонними примесями. Одновременное содержание различных фаз приводит к затруднению качественного анализа влияния отдельной фазы на свойства сплава при взаимодействии с водородом. Содержание примесей, в частности, кислорода и углерода, ухудшает сорбционные свойства сплава.

Бурное развитие ионной и электронной техники открывает новые возможности для получения интерметаллических сплавов. Нагрев исходных материалов до температуры плавления может осуществляться за счет передачи энергии от ионов или электронов. Таким образом, можно получить соединения альтернативным плавлением в плазме аномального тлеющего разряда и электронно-лучевой плавкой. Благодаря высокому вакууму, оба метода обеспечивают эффективное рафинирование [27, 28], и тем самым улучшается качество полученного сплава.

При исследовании системы металл-водород имеется ряд специфических особенностей, связанных с высокой диффузионной подвижностью водорода в металлах и сплавах и его высокой реакционной способностью –

возможностью образования сложных комплексов, в которые входят дефекты вакансионного типа, примесные атомы, дислокации, собственные междоузельные атомы, а также границы зерен [29-33]. Помимо этого, водород не только активно взаимодействует с уже имеющимися структурными дефектами, но и индуцирует образование большого количества новых дефектов [34-38].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является изучение закономерностей накопления водорода и дефектов в сплавах на основе интерметаллического соединения TiCr_2 . Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Литературный обзор, включающий физические основы методов позитронной спектроскопии.
2. Расчет пробега позитронов с помощью программы LYS.
3. Исследование дефектной структуры TiCr_2 , до наводороживания и после, методом позитронной спектроскопии.
4. Определение типа и концентрации дефектов методами позитронной спектроскопии.
5. Исследование зависимости изменения аннигиляционных характеристик образцов сплава TiCr_2 после наводороживания.
6. Анализ полученных результатов.

Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Проблемы хранения водорода

В настоящее время есть большое количество методов промышленного производства водорода. Как уже говорилось выше, запасы водорода неисчерпаемы и легкодоступны, и автоматически возобновляемы. Его могут производить и с помощью паровой конверсии природного газа / метана и с помощью газификации угля, а также с помощью электролиза воды и выделения из биомасс. Поэтому в вопросе о производстве водорода уже многое известно и используется, а вот в хранении водорода, его транспортировке остается много вопросов, так как известные на данный момент технологии имеют ряд недостатков.

В различных сферах применения водорода выдвигаются различные требования к системам его хранения. Аэрокосмическая техника требует низкой общей массы системы хранения, соответственно, высокого массового содержания хранимого водорода. Для малого транспорта пригоднее использовать системы хранения водорода с небольшим объемом контейнера, т.е. с высокой объемной плотностью водорода. Для стационарного хранения (водородных заправочных станций) эти требования менее важны [41].

К настоящему времени методы хранения водорода можно разделить на физические, адсорбционные и химические. Физические методы заключаются в хранении водорода в виде криогенной жидкости или сжатого газа.

Следует отметить, что традиционными методами хранения и транспортировки водорода являются физические методы. Остальные относятся к перспективным методам, и все еще находятся на стадии технологических разработок или мелкомасштабного промышленного производства.

Один из физических способов хранения и транспортировки водорода является его помещение в газобаллонные системы. Но данный вид хранения имеет большие недостатки. В первую очередь это связано с малой

плотностью водорода и при хранении его в газобаллонных системах под давлением создает такие проблемы как: большой удельный вес, который ограничивает их использование (например, в транспорте) и повышенное давление (до 30 МПа), что требует повышенных мер безопасности.

К еще одному физическому способу хранения водорода – в жидком состоянии, так же имеются специфические требования: применение высокоэффективной теплоизоляции или термостатирование данного объема. Такое хранение представляет лучший вариант в отношении снижения массы топлива и повышения плотности энергии (в настоящее время запас хода автомобилей на одну заправку бака составляет около 300 км). Однако очень низкая температура хранения (-253°C) требует высокой степени теплоизоляции бака, что вызывает некоторые проблемы и значительные потери при малой теплоизоляции [3].

Нетрадиционным способом хранения водорода, который является перспективным и требует особого внимания, чтобы в будущем иметь возможность его использования, является хранение в интерметаллических соединениях. Суть данного способа хранения водорода заключается в следующем: в емкости, предназначенные для хранения, помещают специально подобранные сплавы некоторых металлов, которые обладают свойством при определенных условиях (давлениях и температурах) подобно губке поглощать водород, превращаясь при этом в гидрид. При изменении параметров (повышении температуры или давления) гидрид вновь распадается, высвобождая водород.

Все существующие методы хранения водорода имеют собственные достоинства и недостатки. При их сравнении часто используют следующие характеристики [39-42]: объемная плотность хранения водорода ($\text{кг}/\text{м}^3$), массовая плотность водорода (масс.%), условия поглощения-выделения водорода аккумулятором (температуру, давление), чувствительность к окружающей среде, циклическую устойчивость (максимальное количество

циклов перезарядки, при которых сохраняются приемлемые параметры аккумулятора) и стоимость метода хранения.

В таблице 1.1 приведено сравнение существующих методов хранения водорода.

Таблица 1.1 – Методы хранения водорода [39-42]

Метод	Преимущества	Недостатки
Хранение водорода в виде сжатого газа под высоким давлением ($T \sim 300\text{K}$, $P \sim 15\text{-}70\text{Мпа}$)	Простота технологии, низкая стоимость, отсутствие энергетических затрат на выдачу газа	Низкая объемная плотность (10кг/м^3 при 15Мпа), взрывоопасность, утечка газа, водородная коррозия материалов
Хранение жидкого водорода в криогенных системах ($T \sim 20\text{K}$, $P \leq 1,3\text{Мпа}$)	Доступная технология, высокая объемная (до 70кг/м^3) и массовая плотность ($>20\text{масс}\%$)	Высокие энергетические затраты на сжижение водорода
Хранение водорода в цеолитах, металлоорганических каркасах	Низкая стоимость, возможность многократного использования	Низкая сорбционная емкость при комнатной температуре ($0,3\text{-}1\text{масс}\%$, 2Мпа), увеличение емкости только при пониженных температурах ($1,8\text{-}4\text{масс}\%$)
Хранение водорода в углеродных наноматериалах (УН)	Высокая сорбционная емкость ($8\text{-}13\text{масс}\%$ при $T \sim 70\text{K}$, $P \sim 5\text{МПа}$), безопасность	Производство УН недостаточно изучено, низкая температура сорбции водорода
Хранение водорода в химически связанном состоянии (в виде аммиака, метанола и др.)	Высокая объемная и массовая плотность ($17,7\text{ масс}\%$ для аммиака)	Высокая температура выделения водорода ($500\text{-}900^\circ\text{C}$), трудность многократного использования
Хранение водорода в гидридах металлов, интерметаллических соединений	Высокая объемная плотность ($90\text{-}100\text{кг/м}^3$), широкий рабочий диапазон давлений и температур, безопасность	Высокая стоимость некоторых металлов

Из данной таблицы видно, что, несмотря на относительно низкую массовую плотность, благодаря высокой компактности и безопасности, а также широкому рабочему диапазону давлений и температур, металлгидридный метод способен стать серьезным конкурентом с традиционными методами, особенно для применения к мобильным системам хранения и транспортировки водорода.

Основными показателями, определяющими конкурентоспособность такого способа по сравнению с другими, являются:

- отношение полезного веса водорода к весу устройства;
- обратимость процесса и отсутствие технических трудностей при высвобождении водорода и внедрение в «водородный аккумулятор»;
- возможность многократного использования;
- возможность придания «аккумулятору», содержащему связанный водород, произвольной формы, не превышающей габариты основной конструкции;
- безопасность работы с таким способом хранения водорода;
- экономичность способа.

1.2. Анализ материалов для хранения водорода в интерметаллических соединениях

1.2.1. Классификация сплавов-накопителей водорода

СНВ должны обладать следующими параметрами [41-45]:

- а) Обладать большой сорбционной емкостью;
- б) Легко обратимо взаимодействовать с водородом при комнатной температуре или относительно невысоких температурах при давлениях, близких к атмосферному;
- в) Выделять максимум поглощенного водорода при десорбции;
- г) Плато давлений должно быть, как можно более протяженным;
- д) Легко активироваться;

е) Обладать низкой чувствительностью к газовым примесям (O_2 , CO , H_2O и др.), которые часто присутствуют в водороде;

ж) Иметь высокую циклическую стабильность, т.е. способность сохранять рабочие характеристики при многократном циклировании процессов сорбции-десорбции водорода.

и) Иметь невысокую стоимость.

Применение чистых металлов в качестве материалов-накопителей водорода непригодно по различным причинам. К примеру, магний, титан и ванадий, могут образовать с водородом гидриды MgH_2 (7,6 масс.%), TiH_2 (4 масс. %) и VH_2 (3,8 масс. %), соответственно. Однако, гидридные фазы MgH_2 и TiH_2 являются стабильными и для их диссоциации требуется очень высокая температура, что делает их непригодным для практического применения. Ванадий может поглощать и выделять водород при низких температурах, но стоимость материала слишком высока. Поэтому ванадий часто используется для частичного замещения основных компонентов сплавов [43, 44].

Улучшение многих свойств наблюдается у ряда ИМС и сплавов на их основе, которые, как правило, состоят из металлов, образующих стабильные гидриды (Mg , Ti , Zr , Nb , редкоземельные элементы и др.), и металлов, используемых в качестве катализатора химических реакций (Cr , Fe , Mn , Co , Ni , Cu и др.). Разработанные на сегодняшний день СНВ принято делить на следующие группы [39-44]:

а) сплавы на основе магния;

б) сплавы на основе редкоземельных металлов (РЗМ);

в) сплавы на основе циркония;

г) сплавы на основе титана;

д) сплавы на основе других металлов и сплавов.

Кроме того, СНВ также классифицируются по типу интерметаллидов, на которых они основаны. По этому признаку, имеются СНВ типов AB_5 , AB ,

AB₂, AB₃ и др. В таблице 1.2 приведены эксплуатационные характеристики некоторых материалов и соответствующая сорбционная емкость для хранения водорода.

Таблица 1.2 – Гидридообразующие материалы для хранения водорода [45].

Материал	Рабочий интервал		Содержание водорода, масс.%
	T, °C	P, атм.	
Mg	300-400	1-10	7.6
V	0-200	1-200	3.8
Ti	500-600	1-10	4.0
AB ₅ : A – La, Mn, Y, Ca. B – Ni, Al, Co, Sn.	0-200	0.1-150	1.2-1.5
AB ₂ : A – Ti, Zr. B – Cr, Mn, Fe, V	-70-150	0.1-250	1.5-3.6
AB: A – Ti, Zr. B – Fe, Ni.	0-150	1-100	1.7-2.0
A ₂ B: A – Mg. B – Ni, Cu.	200-300	1-100	2.5-3.7
Mg – Ni – P3M	250-400	1-10	4-7
V – Cr – Mn	0-200	1-150	1.8-3.7
Ti – Al – Ni	200-600	1-10	3-5

1.2.2. Сплавы – накопители водорода

Как уже говорилось, магний может поглощать большое количество водорода, образуя гидридную фазу MgH₂, соответствующую емкости 7,6 масс.%. MgH₂ получил значительные научные интересы для хранения водорода благодаря высокой гравиметрической плотности и низкой стоимости. Однако медленная кинетика сорбции водорода Mg и высокая термодинамическая стабильность MgH₂, низкая циклическая стабильность и высокая чувствительность к кислороду препятствуют практическому применению.

Однако, благодаря высокой сорбционной емкости магний сохраняет интерес как перспективный материал-накопитель водорода.

Среди многочисленных методов, используемых для улучшения характеристик MgH_2 , легирование или добавление переходных металлов являются эффективными методами улучшения термодинамической и кинетической реакции гидрирования / дегидрирования. Многочисленные исследования сплавов Mg_2Ni устанавливают, что добавление Ni к Mg приводит к значительному улучшению кинетики дегидрирования. Исследователи также обнаружили, что добавление Ti к MgH_2 может ускорить скорость поглощения водорода. В отличие от сплава Mg-Ni, фазовая диаграмма которого была детально проанализирована, было мало исследований по фазовому составу литья сплава $MgTiNi$. Из-за низкой растворимости Ti в Mg и температуры кипения Mg ниже, чем температура плавления Ti, для получения твердого раствора $MgTiNi$ применялось реактивное механическое легирование. Емкости составляют 5,22 мас.% и 3,23 мас.% для сплавов $MgNi-Ti$ и $MgTiNi$ соответственно.

СНВ на основе РЗМ базируются на интерметаллидах типа AB_5 (А – РЗМ; В – Fe, Co, Ni и др.). Сплавы типа AB_5 на основе $LaNi_5$ представляют собой первый вид сплавов, которые привлекли большое внимание из-за их отличной кинетики и активационных свойств при комнатной температуре, но они не настолько перспективны из-за их ограниченной емкости для хранения водорода (1,5 масс.%) и высокой стоимости. В настоящее время продолжаются интенсивные исследования, направленные на повышение сорбционной емкости этих материалов.

Известно, что ИМС на основе циркония имеет большое потенциальное применение для хранения водорода. Данные материалы хорошо обратимо поглощают и выделяют водород, легко активируются и имеют быструю кинетику.

Множество работ посвящено изучению взаимодействия СНВ на основе ZrV_2 [46-50]. Согласно результатам, полученным авторами работ [50], сплав $Zr_{0.8}Ti_{0.5}V_{1.7}$ при комнатной температуре способен поглощать водород до 2,83 масс.%, что в почти 2 раза больше по сравнению $LaNi_5$. Однако при этом образуют стабильные гидриды с очень низкими давлениями диссоциации, что затрудняет практическое использование. Помимо этого, использование ванадия как основного компонента не выгодно с экономической точки зрения. Низкое давление, необходимое для обратимой реакции с водородом также наблюдается у сплавов $ZrCr_2$ и $ZrMn_2$. Эти сплавы образуют с водородом гидридные фазы $ZrCr_2H_4$ и $ZrMn_2H_{3.6}$, но равновесное давление реакции составляет 1,2 и 0,7 кПа, соответственно [51]. Другим ИМС на основе циркония, которое привлекает к себе большое внимание исследователей, является $ZrFe_2$ [52, 53]. Сплавы на основе $ZrFe_2$ взаимодействуют с водородом в более высоком диапазоне давлений, однако, уступает СНВ на основе ZrV_2 по сорбционной емкости (до 1,8 масс. %).

Чистый титан дает слишком стабильный гидрид состава TiH_2 , чтобы их можно было использовать как материал-накопитель водорода. Однако многие ИМС на основе титана обладают необходимыми свойствами для хранения водорода. Более того, для данных материалов характерна меньшая стоимость, так как они обычно содержат недорогие и недефицитные металлы, такие как Fe, Co, Cr и др., что также является их достоинством.

Большое внимание привлекают к себе сплавы на основе $TiFe$ (типа АВ). Система $TiFe-H_2$ впервые была изучена в работе [54]. Было показано, что при комнатной температуре данное ИМС способно поглощать водород до 1,83 масс.%, а равновесное давление составляет всего 3 атм. Таким образом, основным преимуществом $TiFe$ является мягкое условие взаимодействия с водородом. Однако дальнейшие исследования выяснили, что $TiFe$ имеет высокую чувствительность к примесям (O_2 , CO , CO_2 , H_2O), что приводит к ухудшению свойства сплава при многократном циклировании. Кроме того,

данный сплав трудно активируется [55, 56]. Частичным замещением титана или железа другими элементами (V, Mn, Zr) и получением нанокристаллических структур удалось улучшать сорбционные свойства сплава. Однако, сорбционная емкость СНВ на основе TiFe все еще не высока и не превышает 2 масс. % [57-61].

Довольно интересными для исследователей являются СНВ на основе TiMn₂. Экспериментальные результаты показывают, что при комнатной температуре сорбционная емкость СНВ на основе TiMn₂ находится в интервале от 2,0 до 2,5 масс.%. Давление плато чистого соединения TiMn₂ высокое (около 10 атм.), и снижается при добавлении к нему различных элементов, таких, как Zr, V, Cr, Fe [62-64]. К достоинствам этих сплавов можно отнести легкую процедуру активации и хорошую кинетику.

1.3. Интерметаллическое соединение TiCr₂

Перспективное использование TiCr₂ как материал-накопитель водорода связано, прежде всего, с тем, что данное соединение относится к фазам Лавеса, имеющим большое количество пустот, пригодных для размещения атомов водорода.

Как известно, подавляющее большинство фаз Лавеса описываются формулой AB₂ и образуются при соотношении атомных радиусов элементов r_A/r_B около 1,225. Фазы Лавеса кристаллизуются в трех структурных типах, обозначаемых C14 (прототип MgZn₂), C15 (MgCu₂) и C36 (MgNi₂) (рис. 1.2).

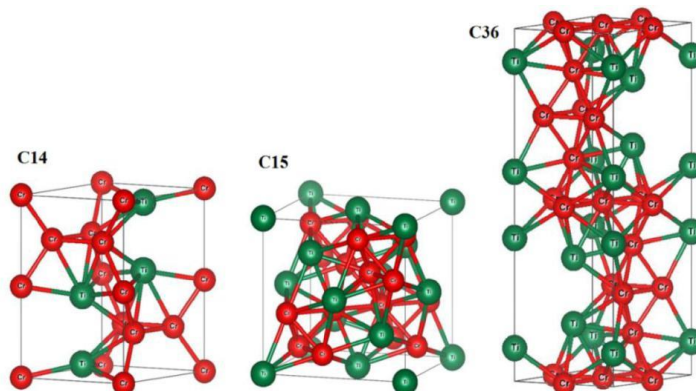


Рисунок 1.1 – Структурные типы фаз Лавеса на примере ИМС TiCr₂[65].

ИМС TiCr_2 может существовать в трех модификациях C14, C15 или C36, что делает его интересным для исследования влияния структуры на различные свойства сплава при взаимодействии с водородом. На рисунке 1.3 приведена фазовая диаграмма системы Ti-Cr.

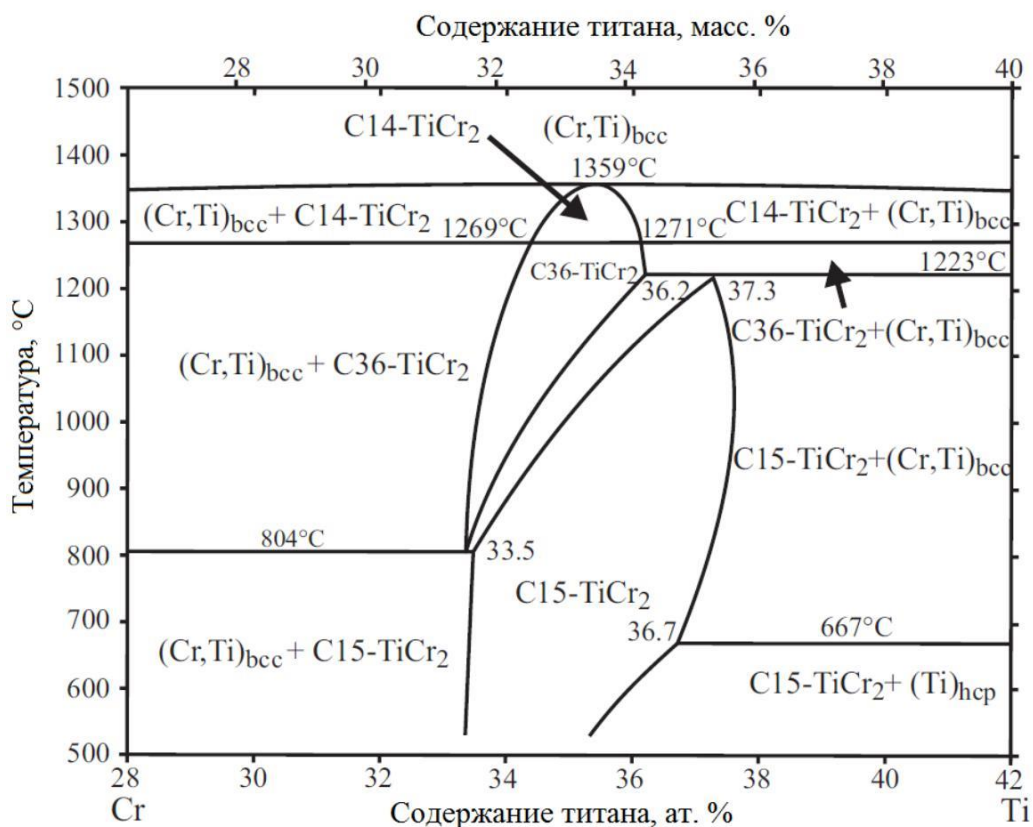


Рисунок 1.2 – Фазовая диаграмма системы Ti-Cr [66]

Таким образом, СНВ на основе интерметаллида TiCr_2 сочетают в себе отличительные свойства для хранения водорода. По сорбционной емкости данные материалы значительно выигрывают СНВ на основе LaNi_5 , TiFe и уступают только СНВ на основе магния, но могут обратимо взаимодействовать с водородом в пригодных условиях. Наряду с этим, СНВ они имеют хорошую кинетику и низкую стоимость. Следовательно, СНВ на основе интерметаллического соединения TiCr_2 представляют большой интерес для широкого практического применения. Именно TiCr_2 будет синтезирован и исследован в данной работе.

1.4. Синтез интерметаллических соединений

Чтобы начать исследовать выбранное соединение, необходимо сначала его синтезировать. Поэтому, анализируем литературу по синтезу нашего соединения и выбираем то, что более остальных подходит для данной исследовательской работы.

От метода получения сильно зависят свойства ИМС, в том числе, сорбционные характеристики при взаимодействии с водородом. Наиболее распространенными методами получения ИМС являются дуговая плавка и индукционная плавка. Для получения нанокристаллических структур часто используют механосинтез. Кроме того, применение ионной или электронной бомбардировки для плавления металлов представляет большой интерес. На этом основана суть таких методов, как плавление в плазме аномального тлеющего разряда и электронно-лучевая плавка.

В различных статьях имеют место разные методы получения материала. В основном это плавка в различных исполнениях. Здесь более пристальное внимание должно уделяться соотношению включенных в сплав материалов. Именно правильное соотношение определяет свойства полученного в итоге сплава.

Вакуумно-дуговая плавка получила широкое применение при синтезе интерметаллидов. Данный метод заключается в передаче тепла электрической дуги нагреваемому материалу. Из-за высокой температуры дуги, металлы быстро нагреваются и плавятся. Различают два вида дуговой плавки – с расходуемым электродом и с нерасходуемым электродом [67, 68].

В первом случае электрическая дуга горит между расходуемым электродом и расплавленными металлами. Химический состав электрода в основном соответствует составу получаемого сплава. Поглощая тепло, электрод расплавляется и образуется металлическая капля, стекающая в водоохлаждаемый медный кристаллизатор. Качество полученного сплава в большой степени зависит от чистоты расходуемого электрода. Данный вид плавки наиболее распространен в промышленности.

Во втором случае дуговой разряд возбуждается между электродами. Нерасходуемый электрод часто изготавливают из вольфрама или графита. Из-за высокой температуры дуги материал электрода частично испаряется и загрязняет расплавляемый металл. Данный вид плавки, как правило, используется главным образом для получения небольшого количества сплава в лабораторных условиях.

Индукционная плавка – метод плавки, основанный на преобразовании энергии электромагнитного поля, поглощаемой электропроводящим нагреваемым веществом, в тепловую энергию. Нагрев и плавка металла происходят за счет протекающих в нем токов, которые возбуждаются под действием электромагнитного поля, создаваемого индуктором. Как правило, индуктор представляет собой соленоид, питаемый переменным током повышенной частоты. В индукционных печах тепло выделяется внутри металла, а расплав интенсивно перемешивается за счет возникающих в нем электродинамических усилий, благодаря этому можно поддерживать требуемую температуру во всей массе сплава [69, 70].

К недостаткам индукционной плавки можно отнести проблему загрязнения полученного сплава материалом тигля. Использование керамических тиглей из оксидов алюминия, кремния или магния часто приводит к загрязнению слитка кислородом. В настоящее время широко применяют графитовые тигли. Однако здесь существует некоторая сложность, поскольку при температурах многие металлы активно взаимодействуют с углеродом.

Электронно-лучевая плавка – метод плавки с помощью пучка ускоренных электронов. В основе электронно-лучевой плавки лежит превращение кинетической энергии электронов, ускоренных электрическим полем в тепловую, при их торможении в расплавляемом материале. Кинетическая энергия электронов расходуется на усиление колебательного движения атомов кристаллической решетки, что и проявляется в повышении температуры металла. Поскольку в электронном пучке концентрируется

большая энергия, можно нагревать расплавляемый материал до температуры плавления с высокой скоростью. Обычно ускоряющее напряжение составляет 30кэВ и выше.

В качестве источника электронов служит электронная пушка. Для плавления материалов часто используют электронную пушку с плазменным катодом. Это связано со способностью пушек данного типа сохранять работоспособность и стабильность при воздействии паров металлов и газовых выбросов из зоны плавления. Электроны, генерируемые пушкой, проходят систему электромагнитных линз и направляются на расплавляемый материал.

Плавление в плазме аномального тлеющего разряда—перспективный метод получения ИМС. Известно, что при работе магнетрона возбуждается аномальный тлеющий разряд. В качестве рабочего газа, как правило, используют инертный газ, чаще всего, аргон. Атомы аргона ионизируются электронами, находящимися в скрещенных электрически и магнитных полях и под действием электрического поля, бомбардируют расплавляемый материал. Таким образом, получая энергию, материал нагревается до температуры плавления и плавится. Под действием магнитного поля плазма разряда локализуется у поверхности, что обеспечивает высокую скорость плавления [28]

Механохимический синтез—представляет собой синтез новых фаз(в том числе и в наноструктурном состоянии) в условиях одновременной совместной высокоэнергетической холодной интенсивной пластической деформации смеси компонентов соединений. Механосинтез может быть проведен в вакууме или в атмосфере инертного газа [71].

Для механохимического синтеза применяют высокоэнергетичные планетарные, шаровые и вибрационные мельницы, средний размер получаемых порошков может составлять от 200 до 5–10 нм. При механическом воздействии на твердые смеси происходит измельчение вещества, ускорение массопереноса, перемешивание компонентов смесей на

атомном уровне и, как следствие, активация их химического взаимодействия. С помощью механического сплавления можно получать вещества как кристаллическом, так и в аморфном состояниях.

Интенсивная обработка смесей металлических позволяет получить материал при комнатной температуре, что является преимуществом метода перед высокотемпературным синтезом. К недостаткам метода следует отнести большую длительность процесса получения сплав и неполное растворение компонентов. Кроме того, при механосинтезе металлы могут загрязняться не только кислородом, но и материалами барабанов мельницы и шарами.

1.5. Утверждение темы работы, ее актуальность.

Проанализировав литературу по темам водородной энергетики, делаем вывод о перспективности данного направления. Водородная энергия все больше и больше привлекает к себе внимание из-за легкой доступности водорода, его неисчерпаемости, так как его можно добывать отовсюду, из различных источников, будь то ископаемое топливо, биомассы или же возобновляемая энергия, преобразованная с помощью химической реакции в водород. Водородная энергетика является альтернативной энергетикой, применение водорода в качестве источника является экологически чистым процессом. Все это дает нам право без сомнения утверждать, что у водорода огромные перспективы, и в первую очередь – в качестве источника энергии.

Процесс производства водорода на данный момент хорошо изучен и широко распространен, а вот с его хранением есть некоторые аспекты требующие особое внимание. Водород является взрывоопасным веществом, поэтому требуется такой метод хранения, который будет не представлять опасности. Просмотрев литературу видно, что наиболее интересный способ хранения является помещение водорода в структуру интерметаллических соединений.

В связи с этим, в данной исследовательской работе будет рассмотрено хранение водорода в соединении TiCr_2 . Данное ИМС является перспективным,

так как оно легко и обратимо может взаимодействовать с водородом при комнатной температуре или относительно невысоких температурах при давлениях, близких к атмосферному, показывает неплохие результаты по сорбционной емкости водорода, а также является относительно дешевым. Именно на основе TiCr_2 будут исследованы закономерности накопления водорода и дефектов.

Результатом исследовательской работы будет синтез и исследование исходной дефектной структуры до наводороживания интерметаллического соединения TiCr_2 и исследование его дефектов после наводороживания, зависимость накопления дефектов от циклов сорбции/десорбции.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1. Материалы

В качестве исходных материалов использовались металлические пороштитана (чистота 99%) и хрома (чистота 99,8%). Доля каждого компонента была выбрана с целью получения стехиометрического состава TiCr_2 . Смешивание металлических порошков проводилось с помощью высокоэнергетической шаровой мельницы SamplePrep 8000M-230 Mixer/Mill. Вращающийся барабан мельницы представляет собой полый цилиндр, приготовленный из карбида вольфрама, а мелющие тела – шары диаметром 10 мм. Время смешивания составляло 60 минут.

2.2. Плавление в плазме аномального тлеющего разряда

Образцы ИМС TiCr_2 получили путем плавления смеси порошков в плазме аномального тлеющего разряда с помощью лабораторной установки «Комплекса вакуумного оборудования» (КВО), разработанной на кафедре экспериментальной физики Томского политехнического университета. При плавлении используется конструкция магнетрона с жидкофазной мишенью [73, 74]. Конструкция магнетрона приведена на рисунке 2.1.

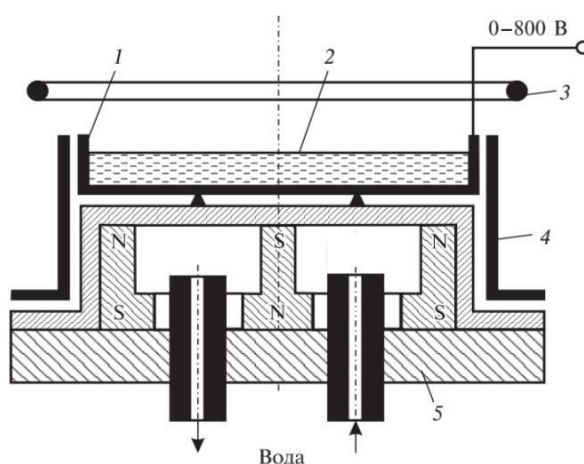


Рисунок 2.1 – Конструкция МРС с жидкофазной мишенью [72]:

1 – тигель, 2 – мишень, 3 – анод, 4 – экран, 5 – магнитная система

Смеси порошков помещаются в графитовый тигель, который с помощью специальных керамических вставок теплоизолируется от охлаждаемой магнитной системы, расположенной под тиглем. Осуществляется откачка рабочей камеры до получения высокого вакуума, затем напускается аргон и между катодом и анодом подается напряжение. В результате ионизации атомов рабочего газа электронами возбуждается аномальный тлеющий разряд. Поскольку электроны находятся в скрещенных электрическом и магнитном полях, плазма разряда локализуется у поверхности мишени. Благодаря интенсивной ионной бомбардировке, порошки нагреваются и расплавляются.

В настоящей работе в качестве рабочего газа использовали аргон, давление которого составляло 3×10^{-1} Па. До напуска аргона рабочую камеру накачали до остаточного давления 5×10^{-4} Па. Напряжение питания магнетрона находилось в диапазоне (550 ÷ 600) В, а ток магнетронного разряда – (5,0 ÷ 5,5) А. Таким образом, мощность магнетронного разряда составила 3 кВт. Для гомогенизации полученный сплав был подвергнут переплавке несколько раз.

2.3. Спектрометрия временного распределения аннигиляции позитронов

Исследование и контроль систем металл-водород имеет ряд специфических особенностей, связанных с высокой диффузионной подвижностью водорода в металлах и сплавах и его высокой реакционной способностью – возможностью образования сложных комплексов, в которые входят дефекты вакансионного типа, примесные атомы, дислокации, собственные междоузельные атомы, а также границы зерен [29-33]. Кроме того, водород не только активно взаимодействует с уже имеющимися структурными дефектами, но и индуцирует образование большого количества новых дефектов [34-38]. Причем, природа водород-индуцированных дефектов и механизм их образования еще не до конца изучены.

Перспективным ядерно-физическим методом исследования и контроля структурных дефектов в системах металл-водород является метод электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА)

2.3.1. Физические основы и экспериментальные методы позитронной спектроскопии

Контроль и исследование систем металл-водород имеет множество особенностей, которые связаны с большой реакционной способностью, т.е. возможность образования различных видов дефектов, таких как примесные атомы, границы зерен, дефекты вакансионного типа, а также дислокации. Нужно отметить, что высокая диффузионная подвижность водорода в материалах является важной особенностью. Более того, водород вызывает образование огромного количества новых дефектов, а также способствует взаимодействию со структурными дефектами в материале [75].

В спектроскопии множество преимуществ имеет применение аннигиляции позитронов для исследования дефектной и электронной структуры материала. Данный метод обладает высокой чувствительностью к изменениям электронной структуры и дефектам вакансионного типа. Электронная структура в бездефектной области отличается от электронной структуры в дефекте, вследствие этого изменяются характеристики электрон-позитронной аннигиляции, то есть меняются характеристики импульсного и временного распределения аннигиляционных фотонов. По отличию данных характеристик можно делать выводы о дефектах структуры исследуемого вещества и об изменениях электронной структуры. Необходимым условием подхода к управлению структурно-чувствительными свойствами и процессами в твердых телах является создание достаточно полного представления о поведении различных дефектов [76].

В кристалле со структурными дефектами позитрон будет притягиваться к локальным атомным образованиям, характеризующимся либо избыточным отрицательным зарядом, либо повышенным сродством к позитрону. Такие

дефекты называются позитронно-чувствительными. Дефектами первого типа являются вакансии, вакансионные кластеры, а также другие локальные свободные объемы. Когда происходит, связанное состояние вследствие этого может, появляться атом позитрония (Ps) [77]. Позитроний – это водородоподобный атом позитрон-электрон, который образует позитрон с электронами окружения при попадании в исследуемый материал.

Позитрон представляет собой античастицу электрона, которая обладает массой ($0,511 \text{ МэВ}/c^2$), имеющая положительный заряд. После имплантации позитрона в твердое тело происходит термализация (в течение $\sim 3 \text{ пс}$), т.е. быстро теряет исходную кинетическую энергию. Потом он случайно движется в кристаллической решетке и локализуется в межузельном пространстве из-за отталкивания со стороны положительно заряженных ионных остовов, а притяжения к электронам проводимости локализуется преимущественно в межузельном пространстве. Как следствие, в совершенном кристалле позитрон будет находиться в делокализованном состоянии блоховского типа.

Когда позитрон и электрон сталкиваются друг с другом, они должны аннигилировать с освобождением энергии, которая равна полной энергии данных частиц. Таким образом, данный процесс наступает, когда позитрон останавливается в веществе, т.е. когда энергия двух частиц равна их энергии покоя $1,022 \text{ МэВ}$ [76,77]. Аннигиляция позитрона и электрона происходит вследствие электромагнитного взаимодействия. В том случае, когда позитрон и электрон аннигилируют, рождается виртуальный фотон. Появившиеся виртуальный фотон может образовать различные частицы, которые могут появляться с энергией, которая меньше или равна сумме энергий позитрона и электрона [78].

Вследствие этого аннигилирующие электрон-позитронные пары должны излучать пары фотонов, у которых общая энергия равна $2m_0c^2$, где $m_0c^2 = 0,511 \text{ МэВ}$. Эта энергия равна энергии массы покоя электрона. Без третьего фотона, который взаимодействует с аннигилирующей парой, закон

сохранения энергии и закон сохранения импульса призывают испускания двух или более фотонов. Данные аннигилирующие фотоны находят себе применение в позитронной пучковой аннигиляционной спектроскопии для нахождения свойств электрона, участвующие в аннигиляционном процессе [79].

Вакансионные кластеры и вакансии обладают меньшей электронной плотностью, чем средняя электронная плотность бездефектного материала, так как отсутствуют ионные остовы, это связано с образованием глубокой потенциальной ямы для позитронов в их окрестностях. В таком роде дефектов энергия связи позитрона равна до нескольких эВ [80]. Время жизни позитрона резко возрастает при увеличении числа вакансий, а также по величине времени жизни позитрона можно догадываться о размере кластера.

2.3.2. Захват позитронов

Позитроны, которые попадают в исследуемый материал из радиоактивных источников (^{22}Na , ^{44}Ti , ^{64}Cu , ^{68}Co и т.д.), далее начинают терять энергию, а также взаимодействовать с атомами кристалла [81].

В твердом теле позитрон может существовать в двух состояниях: делокализованном в кристаллической решетке и локализованном в окрестности дефектов кристаллического строения с различными аннигиляционными характеристиками в этих состояниях.

Делокализованное состояние позитрона – это состояние, при котором позитрон движется в бездефектной решетке и не захватывается дефектами, а состояние позитронов, которые захватываются дефектами, является локализованным состоянием. Локализованное состояние позитронов более стабильное, чем делокализованное состояние, так как имеет меньше собственную энергию. В локализованном состоянии по величине времени жизни позитрона можно делать выводы о размере дефекта и типе дефекта. Переход позитронов из делокализованного состояния в локализованное называют захватом позитронов, вследствие этого энергия позитрона представляет собой разность между этими состояниями [82,83,84].

Вакансионные кластеры и вакансии обладают меньшей электронной плотностью, чем средняя электронная плотность бездефектного материала, так как отсутствуют ионные остовы, это связано с образованием глубокой потенциальной ямы для позитронов в их окрестностях. В таком роде дефектов энергия связи позитрона равна до нескольких эВ [80]. В работе [85] продемонстрировано, что время жизни резко возрастает при увеличении числа вакансий, а также по величине времени жизни позитрона можно догадываться о размере кластера.

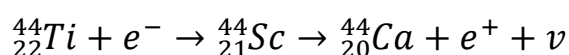
В процессе захвата позитронов дефектами, которые не имеют открытого объема, полагается, что при температурах выше комнатной, позитрон вырывается из дислокации или захватывается другими дефектами, которые связаны с вакансиями.

2.3.3. Спектрометр времени жизни позитронов

Для измерения времени жизни позитронов в материале применяется метод запаздывающих совпадений. Идея метода основывается на измерении скорости счета запаздывающих совпадений между аннигиляционным γ -квантом у которого энергия равна 0,511 МэВ, и ядерным γ -квантом, практически одновременно испущенным с позитроном. Время жизни позитрона в материале зависит от плотности электронов преобладающие около позитрона [86].

В данном эксперименте применяется радиоактивный источник позитронов ^{44}Ti , который может обладать различной активностью. Максимальная энергия позитронов в данном источнике 1,467 МэВ. В качестве защитной капсулы источника применяется титановая капсула. Основной недостаток наличия защитной капсулы заключается в том что, происходит очень большой вклад процессов аннигиляции в капсуле [87].

Реакцию распада ^{44}Ti можно записать следующим образом:



2.3.3.1. Принцип работы спектрометра для измерения времени жизни позитронов

В Для реализации методик ЭПА в основном используется модульная ядерная электроника стандарта NIM. Однако с развитием высокоскоростных систем сбора и преобразования данных (ВСССПД) на смену аналоговым спектрометрам приходят цифровые системы. ВСССПД – конфигурируемые системы, строящиеся на базе высокоскоростных дигитайзеров (дискретизаторов) и позволяющие осуществлять высокоскоростной многоканальный сбор сигналов с последующей обработкой или передачей во внешние приложения. Система состоит из крейта, дигитайзера и интерфейса для связи с ПК.

Типичная схема цифрового спектрометра для исследования материалов методом ЭПА представлена на рисунке 2.3. Сигналы с детекторов направляются непосредственно на высокоскоростную систему сбора и преобразования данных (дигитайзер), где и происходит их обработка для получения временной и энергетической информации [87].

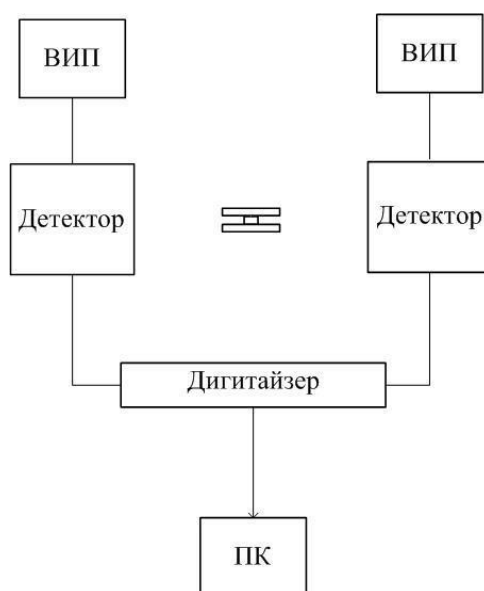


Рисунок 2.3 – Схема цифрового спектрометра для исследования материалов методом ЭПА: ВИП – высоковольтный источник питания, ПК – персональный компьютер [87].

В качестве источника позитронов используется радиоактивный изотоп $^{44}\text{Ti}(\beta^+, \gamma)$. Радиоизотопный источник на основе ^{44}Ti хорошо подходит как для исследований методом ДУАЛ, так и для СВЖП, так как почти в одно время с позитроном испускается реперный γ -квант, имеющий энергию 1,157 МэВ. Источник позитронов располагается между двумя образцами материала, образуя «сэндвич – геометрию». Основное преимущество данной геометрии в том, что позитроны, эмитируемые источником, непосредственно проникают в образец, что позволяет проводить измерения на воздухе.

Питание сцинтилляционных детекторов производится высоковольтным источником питания. Регистрируются γ -кванты при помощи двух сцинтилляционных детекторов на основе фотоэлектронных умножителей и сцинтилляторов BaF_2 . События, которые соответствуют образованию γ -кванта, являются сигналами «старт» и регистрируются первым детектором, а «стоповым» сигналом является промежуток времени между моментом регистрации соответствующих γ -квантов, осуществляемый вторым детектором. Все импульсы, зарегистрированные детекторами, направляются на дифференциальные дискриминаторы, где происходит фиксирование момента регистрации события и разделение поступивших сигналов, которые различаются друг от друга амплитудой [88]. Анодный сигнал с детектора «старт» направляется на ДДПС, на котором установлены пороги дискриминации, чтобы не захватывать область аннигиляционного пика с энергией 0,511 МэВ. На другом дифференциальном дискриминаторе сигнал с анода от детектора «стоп» пороги дискриминации на нем устанавливаются так, чтобы произвести отбор импульсов, соответствующих реперным γ -квантам с энергией 1,157 МэВ.

С первого дифференциального дискриминатора импульсы поступают на стартовый вход время – цифрового преобразователя, а со второго дискриминатора «стоп» – импульсы проходят через блок наносекундной задержки (БНЗ) и подаются на стоповый вход ВЦП. Таким образом, осуществляется измерение промежутка времени между реперным

(1,157 МэВ) и аннигиляционным (0,511 МэВ) γ -квантами. Для набора спектра временного распределения сигналы с ВЦП поступают на блок МПА со специальным программным обеспечением.

2.4. Насыщение водородом из газовой среды

Насыщение водородом производилось на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller LPB фирмы Advanced Materials Corporation по методу Сивертса.

2.4.1. Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB

2.4.1.1. Принцип работы комплекса

Принцип работы комплекса можно понять из рисунка 2.4.

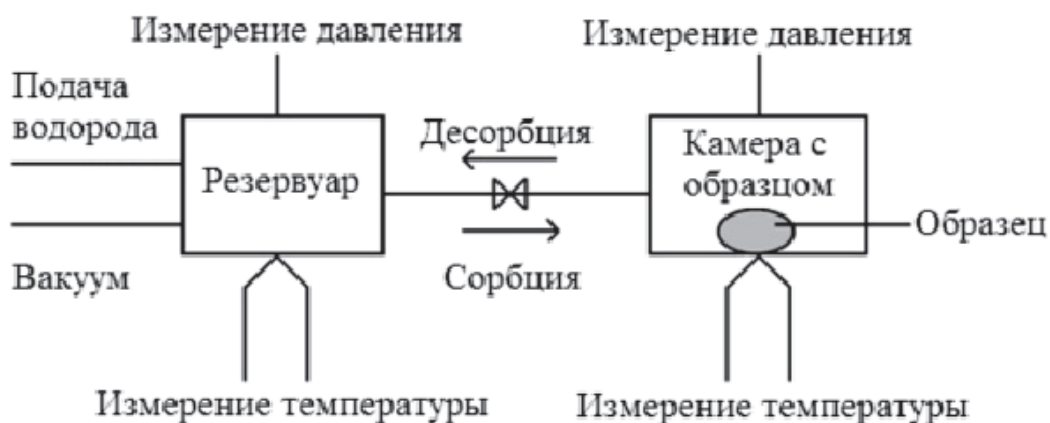


Рисунок 2.4 Принцип работы комплекса Gas Reaction Controller LPB [89].

Заданное количество водорода напускается в резервуар и, по давлению и температуре, определяется его молярный объем (N_0). Далее открывается клапан между резервуаром и реакционной камерой, и водород переходит из резервуара в камеру с образцом. После внедрения водорода в твердотело реакция завершается, и вычисляется общее молярное количество водорода (N_g) в камере с образцом и в резервуаре. Разница между начальным молярным объемом водорода и конечным будет являться поглощенным молярным объемом (N_s) веществом:

$$N_s = N_0 - N_g$$

2.4.1.2. Конструкция и основные компоненты

Автоматизированный комплекс GRC, схема которого изображена на рис.2.5, состоит из компьютера (1) с программным обеспечением на базе LabVIEW, высокотемпературной печи или криостата (2), камер для образцов (3): низкого(4) и высокого (5) давлений и контроллера (6). Контроллер состоит из электронной системы управления комплексом (7) и вакуумной части. Вакуумная часть состоит из резервуара (8), резервуара низкого давления (9), резервуара высокого давления (10), системы пневмонических и ручных клапанов, дросселей, вакуумметров, натекателей и фильтров. В целях безопасности между резервуарами (низкого и высокого давления) и камерами для образцов установлены системы экстренного удаления водорода (11), через которые водород удаляется при превышении максимально допустимого давления. Для создания и поддержания вакуума в системе используется вакуумный пост (12), который состоит из форвакуумного мембранного и турбомолекулярного насосов. Водород в вакуумную систему подается из баллона (13) или генератора (14). Для предотвращения повреждений соединительных проводов в следствие нагрева между печью и контроллером установлена система охлаждения (15).

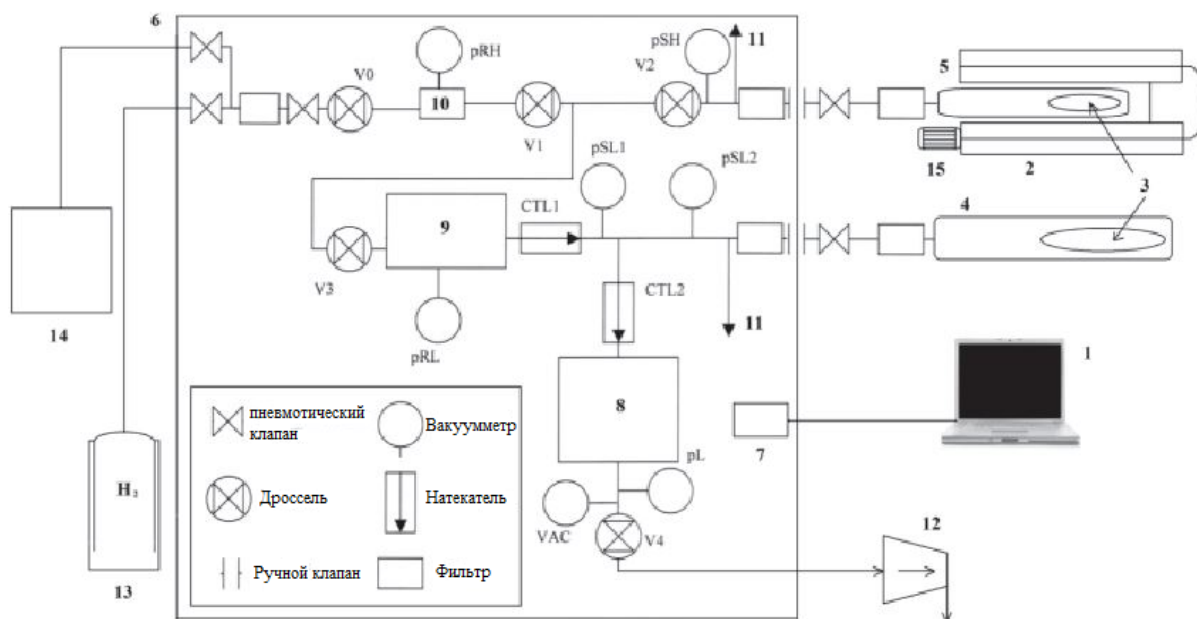


Рис. 2.5. Схема автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Актуальными проблемами современного человечества являются истощение традиционных видов топлива (нефти, угля, природных газ) и загрязнения окружающей среды при их использовании. В связи с этим возрастает интерес к водороду как топливу будущего.

Хранение водорода в гидридах металлов и сплавов отличается от других методов высокой компактностью и безопасностью. Это особо важно для мобильных систем. Но мало просто взять гидрид и использовать его в качестве аккумулятора водорода. Водород активно взаимодействует с уже имеющимися структурными дефектами и индуцирует образование большого количества новых дефектов. В связи с этим, необходимо знать закономерности накопления водорода и дефектов, это позволит выявлять более практичные для цикличного использования материалы-накопители.

На сегодняшний день многие компании выпускают автомобили на водородном топливе, также, водород как топливо используется и в авиапромышленности и в других сферах. Быстрый рост развития рынка водородных аккумуляторов энергии является основанием для ожидания большого спроса на наше исследование.

Для изучения закономерностей накопления водорода и дефектов, использовался спектрометр временного распределения аннигиляции позитронов на основе время – цифрового преобразователя, который был реализован на кафедре общей физики ФТИ ТПУ, применяется для научно-исследовательских работ, которые проводятся на кафедре ОФ. Именно данный спектрометр является конкурентоспособным для других методов исследования материалов-накопителей и будет привлекать большой интерес для водородной энергетики.

4.2. Анализ конкурентных технических решений

Для успешного выхода на рынок, необходимо проводить систематический анализ конкурирующих товаров, так как новые разработки постоянно пребывают с течением определенного промежутка времени. Результатом анализа конкурирующих товаров являются важные коррективы и поправки, вносимые в научное исследование, с целью постоянного повышения спроса и преимущества на рынке. Рассматривая данный анализ со стороны ресурсоэффективности и ресурсосбережения, следует ряд оценок сравнительной эффективности научной разработки и определение ее развития и конкурентоспособности в будущем.

В качестве конкурентов для спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов можно выбрать два метода электрон-позитронной аннигиляции для исследования различных материалов:

- а) метод временного распределения аннигиляционных фотонов (К1);
- б) метод доплеровского уширения аннигиляционной линии (К2).

Для выполнения данного анализа воспользуемся оценочной картой, приведенной в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3	0,6	0,6	0,45
2. Энергоэкономичность	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
3. Надежность	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
4. Уровень шума	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
5. Безопасность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
6. Потребность в ресурсах памяти	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
7. Простота эксплуатации	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
Итого:	1	32	30	29	4,1	3,9	3,7

Рассматривая полученные результаты можно сделать вывод о том, что разрабатываемая лабораторная установка является конкурентоспособной. Данная установка обладает сильными сторонами, такими как надежность эксплуатации, безопасность и простота эксплуатации. Слабыми сторонами являются энергоэкономичность, уровень шума, потребность в ресурсах памяти и качество интеллектуального интерфейса. Для устранения слабых сторон необходимо производить более глубокие исследования установки, а также разрабатывать более подходящие условия обслуживания.

4.3 SWOT-анализ

Сущность SWOT-анализа заключается в выявлении сильных (Strengths) и слабых (Weaknesses) сторон проекта, его возможностей (Opportunities) и угроз (Threats), отрицательно влияющих на проект. Анализируя внутреннюю и внешнюю среду проекта, разработчики могут оценить его текущую и будущую конкурентоспособность и создать правильную стратегию развития. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-Исследовательского проекта: С1. Определение времени жизни позитронов в различных материалах С2. Установление структурного состава материала С3. Облегченное проведение измерений на воздухе С4. Применение радиоактивных источников позитронов с различной радиоактивностью	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие устройств подавляющих шум Сл2. Требуется много времени для набора экспериментального спектра Сл3. Средняя степень радиационной безопасности
Возможности: В1. Определение размера структурного дефекта В2. Получение информации о качественном изменении структуры материала, а также химическом составе в местах аннигиляции позитронов В3. По времени жизни позитрона можно судить о материале, располагающемся между детекторами	– неразрушающий метод, способный детально исследовать не только вакансионные, но и водородно-вакансионные комплексы – использование двух методов ЭПА одновременно (ВРАФ и ДУАЛ) для исследования временного и Импульсного распределения аннигиляции позитронов	– возможность проводить лабораторные исследования только в специальных местах со спец. оборудованием – возможность исследовать материалы для которых есть табличные значения времени жизни позитронов

Продолжение таблицы 4.2

Угрозы: У1. Наличие в спектре времени жизни позитронов большого числа фоновых событий У2. Радиационная опасность У3. Низкая скорость набора экспериментального спектра У4. Требование дополнительных устройств (детекторы, усилители, дискриминаторы)	– использование более радиоактивного источника (с большей активностью) для исследования различных материалов – оптимизация скорости счета событий в спектре	– применение программного обеспечения с более усовершенствованным интерфейсом – покупка нового оборудования (детекторы, сцинтилляторы) для повышения скорости счета
---	---	---

4.4 План проекта

В целях планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики при помощи диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), которые используются для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. В таблице 4.3 приведена диаграмма Ганта.

Таблица 4.3 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ра бот	Вид работ	Испо лнит ели	к кал дне й	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апрел ь			Май			Июнь		
1	Постановка задачи и целей дипломного проекта, принятие задания к выполнению	НР, И	6														
2	Подбор и изучение материалов по проекту	НР, И	10														
3	Выявление проблемы и выбор направления исследования	НР, И	8														
4	Знакомство с установкой	НР	14														
5	Чтение литературного обзора про установку	И	6														
6	Подготовка образцов	НР	14														
7	Набор экспериментальных спектров	И	6														
8	Обработка спектров по времени жизни позитронов	НР	14														
9	Построение графиков в Exel	И	6														
10	Разработка технологического процесса изготовления и методики выполнения работ	НР, И	15														
11	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	НР, И	7														

И – – исполнитель(магистр)



НР – – научный руководитель

4.5. Бюджет научного исследования

В данном подразделе включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 4.4 – Расчет затрат по статье «Электроэнергия на спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Время работы $t_{об}$ (ч)	Потребляемая мощность $P_{об}$ (кВт)	Цена единицы оборудования, (кВт/ч);	Затраты на электроэнергию, руб.
1.	Высоковольтный источник питания	360	0,03	5,8	63
2.	Полупроводниковый детектор (2 шт.)	360	0,05		209
3.	Дифференциальный дискриминатор (2шт.)	40	0,04		19
4.	Блок наносекундной задержки	5	0,02		1
5.	Время – цифровой преобразователь	285	0,03		50
6.	Многопараметровый анализатор	360	0,25		522
7.	Персональный компьютер	377	0,3		656
	Итого	2267	0,72		1520

Следовательно общая сумма затрат за электроэнергию составляют:

$\text{Э}_{\text{электр.}} = 1520 \text{ руб.}$

Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»:

Таблица 4.5 Амортизация спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Срок службы элемента	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	Амортизация за 3 месяца, тыс. руб.
1.	Детекторы	2	5	1500	3000	150
2.	Дискриминатор	2	5	100	200	10
3.	Персональный компьютер	1	5	35	35	1,75
	Итого					161 750

$$\mathcal{E}_{\text{амортизации}} = 161\,750 \text{ тыс.руб.}$$

Таблица 4.5 Цена спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, руб	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Время – цифровой преобразователь	1	21000	21000
2.	Блок задержки	1	8200	8200
3.	Источник питания	1	5 700	5 700
	Итого			34900

$$\mathcal{E}_{\text{спец.оборуд.}} = 34\,900 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{общ.}} = \mathcal{E}_{\text{электр}} + \mathcal{E}_{\text{амор}} + \mathcal{E}_{\text{спец.оборуд}} = 1520 + 161750 + 34900 = 198\,170 \text{ руб.}$$

4.6. Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

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

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени	48	48
– отпуск		
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_b – базовый оклад, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда); k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _б ,руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м ,руб	З _{дн} ,руб.	Тр, раб.д.	З _{осн} , руб.
Руководитель	27500	0,3	0,2	1,3	53625	2235	88	196680
Магистр	1906	0	0	1,3	2478	103	64	6592
Итого								203272

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

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} З_{\text{осн}}$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (на стадии проектирования принимается равным 0,12– 0,15); $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 4.8 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	196680	6592
Дополнительная зарплата	25570	0
Зарплата исполнителя	222250	6592
Итого по статье С_{зп}	228842	

4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.9

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	
	Руководитель	Инженер
1. Материальные затраты НТИ	9235	1250
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	196680	6592
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25570	0
4. Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	62230	0
5. Бюджет затрат НТИ	293715	7842
Итого	301557	

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент (равен 0,28 п.6 ч.1 ст.58 Закона 212-ФЗ) отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.);

$$C_{\text{внеб}} (\text{Руководитель}) = 0,28 * (196680 + 25570) = 62230 \text{ руб.}$$

В итоге общие затраты на реализацию научного проекта составили 301557 руб.

4.8. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^{\Pi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I_{Φ}^{Π} - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость выполнения проекта.

Таблица 4.10 – Стоимость спектрометров

Спектрометр	Φ_{pi} , руб	Φ_{max} , руб	I_{Φ}^{Π}
ВРАП	510000	990000	0,52
ДУАЛ	480000		0,48

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент i-го параметра; b_i – количественная оценка i-го параметра в баллах.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 4.11 – Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Критерий	Весовой коэффициент	Количественная оценка	
		ВРАП	ДУАЛ
Удобство эксплуатации	0,2	5	4
Энергосбережение	0,4	4	4
Надежность	0,25	4	5
Материалоемкость	0,15	3	2
Итого	1	16	15

Рассчитаем значения коэффициентов ресурсоэффективности:

$$I_{врап} = 0,2 \cdot 5 + 0,4 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,05;$$

$$I_{дуал} = 0,2 \cdot 4 + 0,4 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 = 3,95.$$

Показатель эффективности разработки рассчитывается по формуле:

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

$$I_{\text{вrap}} = \frac{4,05}{0,52} = 7,8 \text{ – интегральный показатель эффективности;}$$

$$I_{\text{дуал}} = \frac{3,95}{0,48} = 8,2 \text{ – интегральный показатель эффективности.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\text{Эср} = \frac{I_{\text{вrap}}}{I_{\text{дуал}}} = 0,951$$

Все полученные параметры сравнительного анализа представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сравнительный анализ спектрометров

Спектрометр	ВРАП	ДУАЛ
Интегральный показатель финансовой эффективности	0,52	0,48
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,05	3,95
Интегральный показатель эффективности	7,8	8,2
Сравнительная эффективность	0,951	

Сравнение показателей эффективностей показывает, что более эффективным устройством является спектрометр ДУАЛ.

Глава 5. Социальная ответственность

Водородная энергия представляет собой большое потенциальное решение для удовлетворения глобального спроса на энергию. Развитие водородной энергетики может привести совсем к другой жизни в мире, в котором устранены или сведены к минимуму наши связанные с энергетикой выбросы и другие проблемы экологического ущерба.

Ключевым преимуществом водорода является то, что он может быть получен из различных источников, включая ископаемое топливо, ядерную энергию, биомассу и возобновляемую энергию. Помимо этого, водородная энергетика относится к альтернативной энергетике, применение которой является экологически чистым.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с реализацией процесса хранения водорода в интерметаллическом соединении TiCr_2 в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды. Представлена оценка влияния проекта на окружающую среду, разработаны организационные меры обеспечения безопасности установки и меры безопасности в чрезвычайных ситуациях. Произведен анализ влияния вредных и опасных факторов во время проектирования и в условиях работы системы хранения водорода, отображены меры по снижению их влияния.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю и ежегодный оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Для работников,

работающих в условиях неполного рабочего времени, нагрузка устанавливается пропорционально занимаемой ставке.

Работа выполнялась в лаборатории третьего корпуса ТПУ. Данное помещение относится к классу без повышенной опасности. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», расстояние между рабочими столами, на которых расположены мониторы, должно быть не менее 2 м, между боковыми поверхностями видеомониторов расстояние должно быть не менее 1,2 м. Дисплеи должны быть установлены таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см, но не ближе 50 см с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Напряженность электромагнитного поля вокруг монитора в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц составляет не более 10 В/м. Согласно стандарту ТСО'03 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 мониторы соответствуют техническим стандартам.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

5.2 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» выделен перечень опасных и вредных факторов, характерных для рабочей производственной среды. Перечень занесен в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ; ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ; СН 2.2.4/2.1.8.562–96; СП 51.13330.2011;
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+		СП 60.13330.2016;
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ; СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03;
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+		СП 52.13330.2016 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ;
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ;
6. Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ		+		ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ; ФЗ от 22.07.2013 г. №123;

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В лаборатории, где находятся различные лабораторные установки, могут возникнуть следующие факторы: наличие производственного шума,

некомфортных метеоусловий, электромагнитного излучения и недостаточной освещенности.

5.3.1 Превышение уровня шума

В ходе проведения экспериментов научного исследования возникает производственный шум из-за работы вакуумных насосов. Длительное воздействие шума на человека приводит к снижению остроты слуха, повышению кровяного давления, утомлению центральной нервной системы, что являются причинами ослабления внимания, увеличения ошибок в работе и снижения производительности труда.

В ГОСТ 12.1.003–83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» приведены классификация шумов и допустимые уровни шума для различных рабочих мест. Согласно данному нормативному документу, в лабораториях, где проводятся экспериментальные работы, допустимый уровень шума должен не превышать 75 дБА.

Методы и средства от шума подробно рассматриваются в ГОСТ 12.1.029-80. С целью снижения шума рекомендуется применять средства коллективной и индивидуальной защиты. Эффективным средством коллективной защиты могут быть звукоизолирующие кожухи и глушители шума. Примером применения средства индивидуальной защиты от шума является использование специальных противοшумных наушников, шлемов, заглушек, вкладышей.

Уровень шума также снижается благодаря рациональному размещению и постоянному обслуживанию (очистке, смазыванию) оборудования.

5.3.2 Отклонение показателей микроклимата

При работе различных оборудования в лаборатории микроклимат изменяется. Основными параметрами, определяющими микроклимат рабочего места, являются температура, влажность и скорость движения воздуха. Нормативные значения параметров микроклимата установлены в

ГОСТ 12.1.005–88 и СанПиН 2.2.4.584–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Поскольку выполняемые работы, связанные с ходьбой, не нуждаются в систематическом физическом напряжении или поднятии и переносе тяжести, то они относятся к категории Ib. Энергетические затраты организма на выполнения находятся в диапазоне 140-174 Вт. Оптимальные значения параметров микроклимата для данной категории работ, в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальный микроклимат для легких работ категории Ib

Период	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	60-40	0,1
Теплый	22-24	60-40	0,1

Здесь под холодным понимается период, когда среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 °С. Если этот показатель выше +10 °С, период является теплым.

Отклонение состояния микроклимата в помещении от оптимального вызывает дискомфорт у работников, в результате чего снижается их работоспособность.

Для обеспечения оптимального метеорологического условия для выполнения работ в лаборатории установлены окна, обеспечивающие чистоту воздуха. Кроме того, в зимний период в лаборатории система отопления, поддерживающая оптимальную температуру помещения.

5.3.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В ходе проведения работы необходимо постоянно работать с компьютером. Известно, что компьютер являются источником электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона. Длительное воздействие электромагнитных излучений приводит к нарушениям в

центральной нервной и сердечно-сосудистых системах, катаракте, ломкости ногтей и выпадению волос. Действие электромагнитных полей проявляется в виде быстрой утомляемости, слабости, головной боли, снижения частоты пульса и повышения температуры.

При работе с компьютером временные допустимые уровни ЭМП нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и отображены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых компьютером на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

С целью снижения вредного влияния электромагнитного излучения при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10 - 20 мин, в зависимости от возраста. Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в работе на ПК, во время которых рекомендуется делать простейшие упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.

2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева. При наличии нескольких компьютеров расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Экран монитора должен

находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии $60\div 70$ см, но не ближе 50 см.

3. Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные экраны из металлической сетки и металлических прутков в виде навесов, козырьков, и допустимая величина защитного сопротивления заземления экранирующих устройств не должна быть более 4 Ом.

Кроме этих, к средствам индивидуальной защиты (СИЗ) от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят защитные халаты, комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты.

Материалом для защитных халатов, комбинезонов, фартуков служит специальная ткань, в структуре которой используются тонкие металлические нити, скрученные с хлопчатобумажными. Шлем и бахилы костюма делаются из такой же ткани, но в шлеме спереди вшиты очки и специальная проволочная сетка для дыхания. СИЗ должны быть заземлены. Очки изготавливаются из стекол специальных марок, металлизированных диоксидом олова.

5.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение на рабочем месте должно отвечать условиям работы и быть оптимальным по величине, а его спектр должен быть максимально приближен к дневному, лучше всего соответствующему физиологии человека. Слишком высокая освещенность, также как и недостаточная, вызывает быстрое утомление глаз и снижение видимости. Освещение должно быть достаточно равномерным по площади, так как при переводе взгляда с менее освещенных на более освещенные поверхности и наоборот происходит снижение остроты зрения на некоторый промежуток времени. Требования к освещению в производственных помещениях установлены сводом правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

Оптимальные параметры освещения способствуют повышению работоспособности и оказывают положительное влияние на психологическое состояние человека.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим отраженный от потолка и стен световой поток. Длина помещения $A = 5,3$ м, ширина $B = 4,7$ м, высота $H = 3,5$ м, высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 5,3 \cdot 4,7 = 24,91 \text{ м}^2.$$

Недавно побеленные стены с окнами обладают коэффициентом отражения, без штор $\rho_C = 50\%$, для потолка недавно побеленного $\rho_{II} = 70\%$. При малом выделении пыли в помещении коэффициент запаса равен $K_3 = 1,5$. Для люминесцентных ламп характерен коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Для того чтобы обеспечить освещение комнаты с выше указанными параметрами, выберем лампу белого света ЛБ, со световым потоком $\Phi_{ЛБ} = 2800$ Лм. Светильники длина которых 1227 мм, а ширина – 265 мм, имеем две люминесцентные лампы типа ОДОР-2-40, мощность каждой лампы 40 Вт.

Оптимальное расположение светильников определяется интегральным критерием, то есть величиной λ , значение которой для нашего случая лежит в диапазоне 1,1-1,3. При минимальном значении $\lambda=1,1$ и расстоянии светильников от перекрытия $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,3 = 2,4 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками определяется по формуле: $L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,4 = 2,64$ м.

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = B / L = 4,7 / 2,64 \approx 2.$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = A / L = 5,3 / 2,64 \approx 2.$$

Таким образом, общее количество светильников будет равно $N=4$.

Расстояние от рядов светильников до стены определяется по формуле:

$$l = L / 3 = 2,64 / 3 = 0,88 \text{ м.}$$

На рисунке 5.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

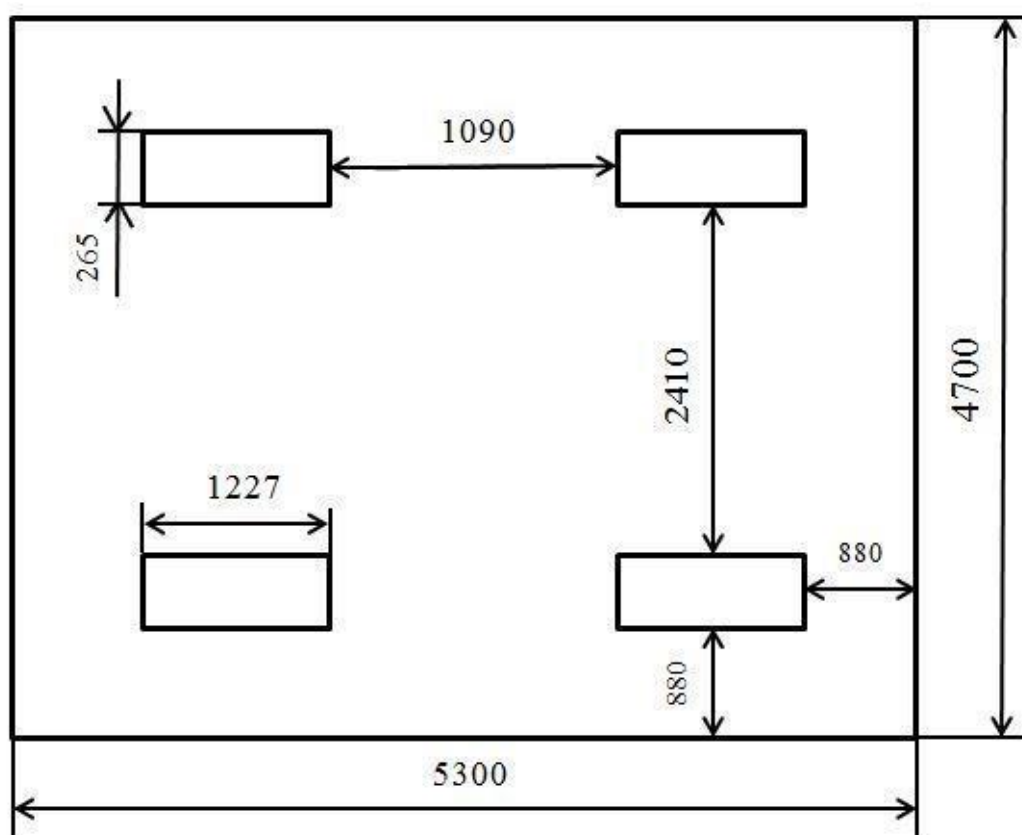


Рисунок 5.1 – План размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{5,3 \cdot 4,7}{2,4(5,3 + 4,7)} = 1,04$$

Коэффициент использования светового потока показывает какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{л}} = 70\%$, коэффициенте отражения стен $\rho_{\text{с}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,04$ равен $\eta = 0,42$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 5,3 \cdot 4,7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 4 \cdot 0,42} = 2446 \text{ Лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{2800 - 2446}{2800} \cdot 100\% \leq 20\%$$
$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_n}{\Phi_{\text{лд}}} = \frac{2800 - 2446}{2800} \cdot 100\% = 12,6\%$$

Таким образом $-10\% \leq 12,6 \leq 20$ – необходимый световой поток лампы не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.3.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

В лаборатории находятся электрические установки с классами напряжения до 1 кВ, в которых, согласно ГОСТ12.1.038-82 ССБТ, предельно допустимые безопасные значения тока, напряжения и сопротивления не должны превышать значений 0,1 мА, 36В и 4 Ом соответственно.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием используются:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;

5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;

6. средства индивидуальной защиты и предохранительные приспособления: диэлектрические перчатки, галоши, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, диэлектрические резиновые ковры, указатели напряжения.

5.3.6 Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ

Лаборатория, в которой выполнялись эксперименты, относится к категории «А» повышенная взрыво-пожароопасность. так как лаборатория содержит горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, а также 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. Данное помещение выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам. Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Причиной возникновения пожара неэлектрического характера являются халатное неосторожное обращение с огнем. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и так далее.

5.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их

надежной изоляции, применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

К СКЗ относятся заземление и разделение электрической сети с помощью трансформаторов – в результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности.

К СИЗ относятся инструменты с электроизолированными ручками, резиновые перчатки, резиновые сапоги и деревянные лестницы.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ.

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, резиновые коврики и дорожки изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Ослабление мощности электромагнитного поля на рабочем месте, в частности в производственном помещении, достигается путём увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом, установкой отражающих или поглощающих экранов между источником и рабочим местом, размещение токоведущих элементов аппаратов и устройств в ферромагнитные оболочки кожухи. Самым эффективным методом является установка экранирующих экранов. Экраны могут защищать как сам источник, так и рабочее место, также применяют заземляющие экраны.

5.5 Экологическая безопасность

В процессе работы в лаборатории необходимо позаботиться о раздельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, пластика, резины и так далее. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она

обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При наводороживании системы применяется водород в газообразном виде; при осуществлении этого процесса необходим строгий контроль за давлением и температурой. Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории «А» повышенная взрыво-пожароопасность – так как лаборатория содержит горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, а также 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.

Системы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях должны оставаться активными во всех режимах работы. Аварийная система должна отключать все функции и операции, которые могут помешать выполнению процедуры аварийного останова станции.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

На рисунке 6.2 представлен план эвакуации лаборатории 3 корпуса, в которой выполнялись разработки материала для хранения водорода.

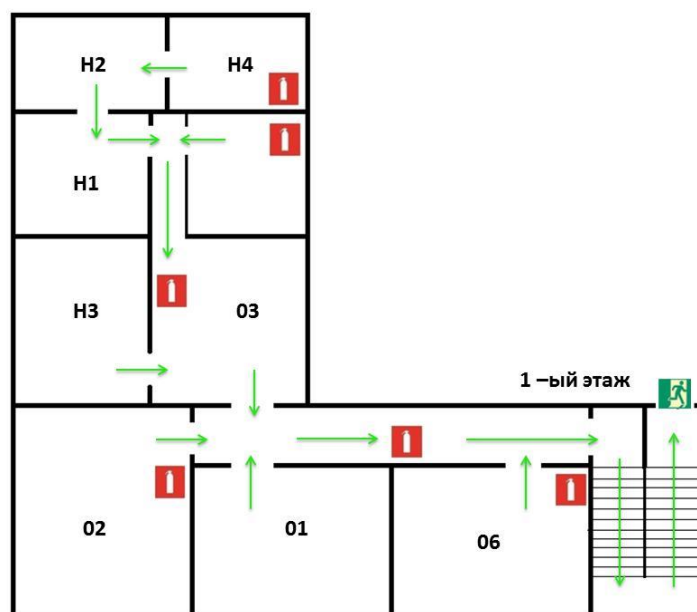


Рисунок 5.2 – План эвакуации из рабочего помещения

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5. Также в помещениях необходимо на каждом этаже размещать не менее двух переносных огнетушителей; наличие охранно-пожарной сигнализации.

Достижение критически низких температур может привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы или обморожениям.

В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают очень часто. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, их местах установки и количестве.

Выводы по разделу

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по подготовке и исследованию интерметаллического соединения $TiCr_2$ в лаборатории, были выявлены и проанализированы опасные и вредные производственные факторы, даны практические рекомендации по технике безопасности. Обеспечение безопасности персонала на рабочем месте является очень важной задачей. В лабораториях должны обеспечиваться необходимые условия труда для рабочих, минимизироваться вредные и опасные факторы производственной среды. Персонал должен обладать специализированными умениями и навыками для выполнения соответствующих работ на установках.

Заключение

Для решения основных проблем водородной энергетики актуальным методом безопасного и компактного хранения и транспортировки водорода в качестве топлива является металлогидридный способ. Перспективными материалами-накопителями водорода являются интерметаллические соединения типа AB_2 со структурой фаз Лавеса, в частности, $TiCr_2$ благодаря относительно высокой сорбционной емкости и способности взаимодействовать с водородом в необходимом диапазоне температур и давлений.

В результате проделанной работы было проведено исследование временного распределения аннигиляции позитронов в интерметаллическом соединении $TiCr_2$ в зависимости от температуры отжига и установлены основные центры захвата позитронов дефектами. Исследование проводилось на установке спектрометра времени жизни позитронов с радиоактивным источником позитронов ^{44}Ti . В результате исследования получили спектры временного распределения аннигиляции позитронов в интерметаллическом соединении $TiCr_2$ при различных температурах отжига, по которым установлены основные типы дефектов.

Также, исследование временного распределения аннигиляции позитронов в интерметаллическом соединении $TiCr_2$ проводилось в зависимости от циклов сорбции\десорбции. Получили спектры временного распределения аннигиляции позитронов для различных значений циклов наводороживания, по которым определено, что количество дислокации с увеличением циклов сорбции\десорбции существенно возрастает. Уже при первом цикле сорбции\десорбции их интенсивность увеличивается на 15 %, однако при последующих циклах уже увеличивается незначительно. Временные компоненты, связанные с аннигиляцией позитронов в вакансионных комплексах и на поверхности с увеличением количества циклов сорбции\десорбции, не изменяются.

Также установлено, что увеличение количества циклов приводит к дальнейшему снижению водородной емкости. Соответственно, анализируя полученные результаты можно заключить, что падение эффективной водородной емкости интерметаллического соединения TiCr_2 при циклических процессах сорбции\десорбции обусловлено накоплением дефектов дислокационного типа.

Список используемой литературы

1. Dincer I., Acar C. Smart energy solutions with hydrogen options
//International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – Т. 43. – №. 18. – С. 8579-8599.
2. Stern A. G. A new sustainable hydrogen clean energy paradigm
//International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – Т. 43. – №. 9. – С. 4244-4255.
3. Zhang F. et al. The survey of key technologies in hydrogen energy storage
//International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – Т. 41. – №. 33. – С. 14535-14552.
4. Bertin N., Cai W. Computation of virtual X-ray diffraction patterns from discrete dislocation structures //Computational Materials Science. – 2018. – Т. 146. – С. 268-277.
5. Тарасов Б. П., Лотоцкий М. В. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее //Российский химический журнал. – 2006. – Т. 50. – №. 6. – С. 5-18.
6. Park H. S. et al. Hydrogen storage and electrochemical characteristics of $\text{Ti}_{0.32}\text{Cr}_{0.43-x}\text{V}_{0.25}\text{Fe}_x$ ($x=0-0.08$) alloys and its composites with $\text{La}_{0.1}\text{Al}_{0.25}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.65}$ alloy //Journal of Alloys and Compounds. – 2012. – Т. 513. – С. 566-572.
7. Murashkina T. L. et al. Structure and defects evolution at temperature and activation treatments of the TiCr_2 intermetallic compound of Laves phase C36-type //International Journal of Hydrogen Energy. – 2019.
8. Тарасов Б. П., Лотоцкий М. В., Яртысь В. А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулялирования водорода //Российский химический журнал. – 2006. – Т. 50. – №. 6. – С. 34-48.
9. Колачев Б. А., Шалин Р. Е., Ильин А. А. Сплавы-накопители водорода //М. Металлургия. – 1995. – 384 с. – 1995.
10. Карпов Д.А., Литуновский В.Н. Водородная энергетика: Хранение водорода в связанном состоянии. СПб. АО “НИИЭФА”, 2016. – 94 с.

11. Тарасов Б. П. Металлогидридные системы хранения водорода. Металлогидридные системы хранения водорода // Четвертая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики» Санкт-Петербург, 26–28 ноября 2007.
12. Cao Z., Ouyang L. et al. Advanced high-pressure metal hydride fabricated via Ti-Cr-Mn alloys for hybrid tank // International Journal of Hydrogen Energy. – 2015. – Т. 40– №6 – С. 2717-2728.
13. Tsukahara M. Hydrogenation properties of vanadium-based alloys with large hydrogen storage capacity // Materials transactions. – 2011. – Т. 52 – № 1. – С. 68-72.
14. Kawasuso A., Arashima H. et al. TiCrV hydrogen storage alloy studied by positron annihilation spectroscopy // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Т. 486 –№1–2. – С. 278-283.
15. Martinez A., dos Santos D.S. Hydrogen absorption/desorption properties in the TiCrV based alloys // Materials Research. – 2012. – Т. 15–№ 5. – С. 809-812.
16. Okada M. et al. Ti-V-Cr bcc alloys with high protium content // Journal of alloys and compounds. – 2002. – Т. 330. – С. 511-516.
17. Shashikala K. et al. Improvement of hydrogen storage properties of TiCrV alloy by Zr substitution for Ti // International Journal of Hydrogen Energy. – 2009. – Т. 34. – № 16. – С. 6684-6689.
18. Hang Z., Xiao X. et al. Influence of heat treatment on the microstructure and hydrogen storage properties of $\text{Ti}_{10}\text{V}_{77}\text{Cr}_6\text{Fe}_6\text{Zr}$ alloy // Journal of Alloys and Compounds. – 2012. – Т. 529. – С. 128-133.
19. Yadav T. P., Shahi R. R., Srivastava O. N. Synthesis, characterization and hydrogen storage behaviour of AB_2 (ZrFe_2 , $\text{Zr}(\text{Fe}_{0.75}\text{V}_{0.25})_2$, $\text{Zr}(\text{Fe}_{0.5}\text{V}_{0.5})_2$ type materials // International journal of hydrogen energy. – 2012. – Т. 37. – № 4. –С. 3689-3696.

20. Kumar V. et al. Effect of Ni concentration on the structural and hydrogen storage characteristics of Zr–Mn based laves phase system // *Materials for Renewable and Sustainable Energy*. – 2013. – Т. 2– № 2. – С. 12.
21. Qu H. et al. Effects of Co introduction on hydrogen storage properties of Ti-Fe-Mn alloys // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2015. – Т. 40–№6. – С. 2729-2735.
22. Jurczyk M. Nanocrystalline materials for hydrogen storage // *Journal of optoelectronics and advanced materials*. – 2006. – Т. 8–№ 2 – С. 418-424.
23. Chen Z. et al. Development of Ti-Cr-Mn-Fe based alloys with high hydrogen desorption pressures for hybrid hydrogen storage vessel application // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2013. – Т. 38– № 29. – С. 12803-12810.
24. Giang G., Huot J., Scultz R. Hydrogen storage properties of the mechanically alloyed LaNi₅-based materials // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2001. – Т. 320 – №1. – С. 133-139.
25. Huot J., Ravnsbæk D.B. et al. Mechanochemical synthesis of hydrogen storage materials // *Progress in Materials Science*. – 2013. – Т. 58 –№1. – С. 30-75.
26. Dos Santos D.S., Bououdina M., Fruchart D. Structural and hydrogenation properties of an 80wt% TiCr_{1.1}V_{0.9}-20wt% LaNi₅ composite material // *International journal of hydrogen energy*. – 2003. – Т. 28 –№11. – С. 1237-1241.
27. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокореакционных металлов. – Киев: Наукова думка, 2008. – 312 с.
28. Блейхер Г.А., Кривобоков В.П. Эрозия поверхности твердого тела под действием мощных пучков заряженных частиц. – Новосибирск: Наука, 2014 – 320 с.
29. Чернов И. П., Черданцев Ю. П., Тюрин Ю. И. Методы исследования систем металл-водород // М.: Энергоатомиздат. – 2004. – С. 270.

30. Гельд П.В., Рябов Р. Водород в металлах и сплавах. - М.:Металлургия, 1974. – 272 с
31. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов / Б. А. Колачев. – М.:Металлургия, 1985. – 217 с
32. Водород в металлах : В 2-х т. : Пер. с англ. / Под ред. Г. Алефельда, И.Фёлькиля. – М. : Мир, 1981. –Т. 2. Прикладные аспекты. – 1981. – 430 с
33. Гельд П.В., Рябов Р.А., Кодес Е.С. Водород и несовершенства структуры металла. – М.: Металлургия. – 1979. – 221 с
34. Čížek J. et al. Hydrogen-induced defects in bulk niobium //Physical Review B. – 2004. – Т. 69. – №. 22. – С. 224106.
35. Socher S., Lavrov E. V., Weber J. Hydrogen-induced defects in ion-implanted Si //Physical Review B. – 2012. – Т. 86. – №. 12. – С. 125205.
36. Sakaki K. et al. Hydrogen-induced vacancy generation phenomenon in pure Pd //Materials Transactions. – 2002. – Т. 43. – №. 11. – С. 2652-2655.
37. Xiong K., Robertson J. Hydrogen-induced defects and degradation in oxide ferroelectrics //Applied physics letters. – 2004. – Т. 85. – С. 2577.
38. Čížek J. et al. Hydrogen-induced defects in niobium studied by positron annihilation //Materials Science Forum. – 2004. – Т. 445. – С. 60-62.
39. Schlapbach L., Züttel A. Hydrogen-storage materials for mobile applications // Nature. – 2001. – Vol. 414. – P. 353-358.
40. Yang J., Sudik A. et al. High capacity hydrogen storage materials: attributes for automotive applications and techniques for materials discovery // Chemical Society Reviews. – 2010. – Is. 2. – P. 656-675.
41. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулялирования водорода // Российский химический журнал. – 2006. – Т. 50, № 6. – С. 34-48.
42. Ажажа В.М., Тихоновский М.А. и др. Материалы для хранения водорода: анализ тенденций развития на основе данных об информационных потоках // Вопросы атомной науки и техники. – 2006. – № 1. – С.145-152.

43. Колачев Б. А., Шалин Р. Е., Ильин А. А. Сплавы-накопители водорода. Справочник. М.: Металлургия, 1995. – 384 с.
44. Карпов Д.А., Литуновский В.Н. Водородная энергетика: Хранение водорода в связанном состоянии. СПб. АО “НИИЭФА”, 2016. – 94 с.
45. Тарасов Б. П. Металлогидридные системы хранения водорода. Металлогидридные системы хранения водорода // Четвертая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики» Санкт-Петербург, 26–28 ноября 2007.
46. Zhang Y., Li J. et al. Hydrogen absorption properties of a non-stoichiometric Zr-based Laves alloy against gaseous impurities // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42 (15). – P. 10109-10116.
47. Zhang M., Hu H. et al. Hydrogenation properties of Pd-coated Zr-based Laves phase compounds // Vacuum. – 2014. – Vol. 109. – P. 191-196.
48. Bereznitsky M., Mogilyanski D., Jacob I. Destabilizing effect of Al substitution on hydrogen absorption in $Zr(Al_xV_{1-x})_2$ // Journal of Alloys and Compounds. – 2012. – Vol. 542. – P. 2013-217.
49. Wu T., Xue X. et al. Role of Ni addition on hydrogen storage characteristics of ZrV_2 Laves phase compounds // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – Vol. 41 (24). – P. 10391-10404.
50. Zhang Y., Li J. et al. Hydrogenation thermokinetics and activation behavior of non-stoichiometric Zr-based Laves alloys with enhanced hydrogen storage capacity Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Vol. 694. – P. 300-308.
51. Shaltiel D., Jacob I., Davidov D. Hydrogen absorption and desorption properties of AB_2 laves-phase pseudobinary compounds // Journal of the Less Common Metals. – 1977. – Vol. 53 (1). – P. 117-131.
52. Jiang L., Tu Y. et al. Microstructures and hydrogen storage properties of $ZrFe_{2.05-x}V_x$ ($x = 0.05 - 0.20$) alloys with high dissociation pressures for hybrid hydrogen storage vessel application // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – Vol. 627. – P. 161-165.

53. Сивов Р.Б., Зотов Т.А., Вербцкий В.Н. Новые сплавы-накопители водорода на основе $ZrFe_2$ с высоким давлением диссоциации гидридов. // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 5. – С. 13-20.
54. Reilly J.J., Wiswall Jr R.H. Formation and properties of iron titanium hydride // Inorganic Chemistry. – 1974. – Vol. 13, № 1. – P. 218-222.
55. Sandrock G.D., Goodell P.D. Surface poisoning of $LaNi_5$, FeTi and (Fe,Mn)Ti by O_2 , CO and H_2O // Journal of the Less Common Metals. – 1980. – Vol. 73 (1). – P. 161-168.
56. Schober T. On the activation of iron-titanium for hydrogen storage // Journal of the Less Common Metals. – 1983. – Vol. 89. – P. 63-70.
57. Nagai H., Kitagaki K., Shoji K. Hydrogen storage characteristics of FeTi containing zirconium // Transactions of the Japan Institute of Metals. – 1988. – Vol. 29, № 6. – P. 494-501.
58. Guéguen A., Latroche M. Influence of the addition of vanadium on the hydrogenation properties of the compounds $TiFe_{0.9}V_x$ and $TiFe_{0.8}Mn_{0.1}V_x$ ($x = 0, 0.05$ and 0.1) // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – Vol. 509. – P. 5562-5566.
59. Hotta H., Abe M. et al. Synthesis of Ti–Fe alloys by mechanical alloying // Journal of Alloys and Compounds. – 2007. – Vol. 439. – P. 221-226.
60. Abe M., Kuji T. Hydrogen absorption of TiFe alloy synthesized by ball milling and post-annealing // Journal of Alloys and Compounds. – 2007. – Vol. 446-447. – P. 200-203.
61. Задорожный М.Ю., Калошкин С.Д. и др. Механохимический синтез нанокристаллического интерметаллического соединения TiFe и механическое легирование его третьим компонентом // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2012. – № 9. – С. 30-35.
62. Au M., Pourarian F. et al. TiMn₂-based alloys as high hydrogen storage materials // Materials Science and Engineering: B. – 1995. – Vol. 33 (2-3). – P. 53-

63. Schülke M., Kiss G. et al. Complex surface analytical investigations on hydrogen absorption and desorption processes of a TiMn₂-based alloy // Analytical and Bioanalytical Chemistry. – 2009. – Vol. 393 (8). – P. 1843-1856.

64. Huang T., Wu Z., Sun G. Microstructure and hydrogen storage characteristics of TiMn_{2-x}V_x alloys // Intermetallics. – 2007. – Vol. 15 (4). – P. 593-598.

65. Murashkina T. L., Syrtanov M. S., Laptev R. S. Structural Changes in C36 Laves Phase Intermetallic Compound TiCr₂ During Hydrogenation–Dehydrogenation Process // Russian Physics Journal. – 2019. – T. 61. – №. 10. – С. 1940-1946.

66. Zhuang Z., Shen J. et al. Thermodynamic optimization of the Cr-Ti system // Z.Metallkd. – 2000. – Vol. 91. – P. 121-127.

67. Лейканд М.С. Вакуумные электрические печи. –М.: Машиностроение, 1977. – 52 с.

68. Кеменов В.Н., Нестеров С.Б. Вакуумная техника и технология. –М.: Издательство МЭИ, 2002. – 84 с.

69. Егоров Л.В., Моржин А.Ф. Электрические печи. – М.: Metallurgy, 1975. – 352 с.

70. Линчевский Б.В. Вакуумная металлургия стали и сплавов. – М.: Metallurgy, 1970. – 258 с.

71. Ремпель, А.А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурированных материалов // Успехи химии. – 2007. – Т. 76, № 5. – С.475–499.

72. Юрьева А.В. Магнетронная распылительная система с жидкофазной мишенью // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 4. – Ч. 1. Режимдоступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51541>.

73. SidelevD.V., BleykherG.A. Acomparativestudyonthepropertiesofchromiumcoatingsdepositedbymagnetronspuatteringwithhotandcooledtarget // Vacuum. – 2017.

74. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г. и др. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – №. 2. – С. 34-38.

75. Методы исследования систем металл-водород: учебное пособие / Ю.П. Черданцев, И. П. Чернов, Ю. И. Тюрин. – Томск: Изд-во. ТПУ, 2008. – 286 с.

76. Зин Мин У. Исследование изменений электронной структуры и параметров дефектов в сплавах на основе Ni-Cr методом аннигиляции позитронов: диссертация, канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 Москва, 2007 164 с. РГБ ОД, 61:07-1/1031.

77. Позитрон // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Позитрон>

78. Ишханов Б. С., Кэбин Э. И. Антиматерия //М.: Университетская книга МГУ. – 2012.

79. Графутин В. И. и др. Позитроника и нанотехнологии: возможности изучения нанообъектов в технически важных материалах методом позитронной аннигиляционной спектроскопии //Нанотехника. – 2008. – №. 16. – С. 33-42.

80. Арифов У. А., Арифов П. У. Физика медленных позитронов: Аннигиляция позитронов в веществе позитроны в атомных системах двухфотонная угловая корреляция. – Фан, 1971.

81. Гольданский В. И. Физическая химия позитрона и позитрония. – Наука, 1968.

82. Графутин В. И. и др. Определение размеров нанообъектов в некоторых дефектных и пористых системах методом позитронной аннигиляции //Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2009. – №. 2. – С. 74-83. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика: учебное пособие. – Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1972.

84. Čížek J. et al. Defect studies of hydrogen loaded Nb: bulk metals and thin films //physica status solidi c. – 2007. – Т. 4. – №. 10. – С. 3485-3488.
85. Grafutin V. I. et al. Determination of the size of vacancy-type defects in angstrom ranges by positron annihilation spectroscopy //Russian Microelectronics. – 2011. – Т. 40. – №. 6. – С. 428-435.
86. Получение позитронов с использованием пучка электронов // Бреховских, Горев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки .— 2014 .— №3 .— С. 134-144.
87. Лаптев Р. С. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород : дис. – 2014.
88. Кэбин Э. Ядерная электроника для пользователей //Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/electronics/timing.htm>. – 2007.
89. Кудияров В. Н. Закономерности формирования гидридного обода в оболочечных трубах из циркониевого сплава Э110 при газофазном наводороживании: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 01.04. 07 : дис. – 2017.
90. Ищенко Н. И., Чубарова Я. А. Способы подготовки образцов циркониевых сплавов для металлографического исследования //Вопросы атомной науки и техники. – 2004.
91. Кудияров В.Н., Лидер А.М. Изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 3466-3471.
92. National Institute of Standards and Technology [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=179>
93. Giebel D., Kansy J. LT10 program for solving basic problems connected with defect detection //Physics Procedia. – 2012. – Т. 35. – С. 122-127.
- 94, Kawasuso A. et al. TiCrV hydrogen storage alloy studied by positron annihilation spectroscopy //Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Т. 486. – №. 1-2. – С. 278-283

95. Murashkina T. L. et al. Cyclic stability of the C36-type TiCr₂ Laves phase synthesized in the abnormal glow discharge plasma under hydrogenation //International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – Т. 44. – №. 13. – С. 6709-6719

96. ГОСТ 12.4.154-85 ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

97. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

98. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

99. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

100. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

101. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

102. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

103. ГОСТ 12.2.037-78. ССБТ. Техника пожарная. Требования безопасности

104. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха населенных мест

105. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. Основные положения

106. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2).

107. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

Приложение А

Раздел 2

Экспериментальная установка для измерения времени жизни позитронов

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Аплин Р.Д.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Р.С	к.т.н.		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Токмашев Д.М.	к.фил.н, доцент		

Chapter 2. Experimental setup for measuring the lifetime of positrons

2.1 Analog spectrometer of the lifetime of positrons

The delayed-coincidence method is applied for measurement of a lifetime of positrons in material. The idea of a method is based on the measurement of speed account of delayed coincidences between annihilation γ -quantum with energy is equal to 0,511 MeV, and the nuclear γ -quantum emitted almost simultaneously with the positron. The lifetime of the positron in material depends on density of electrons prevailing about positron.

The radioactive source of positrons ^{44}Ti applied in this experiment. The maximum energy of the positrons in the source is 1,467 MeV.

Reaction of the decay of ^{44}Ti can be written as follows:

The energy spectrum of the decay of ^{44}Ti is shown in figure 1:

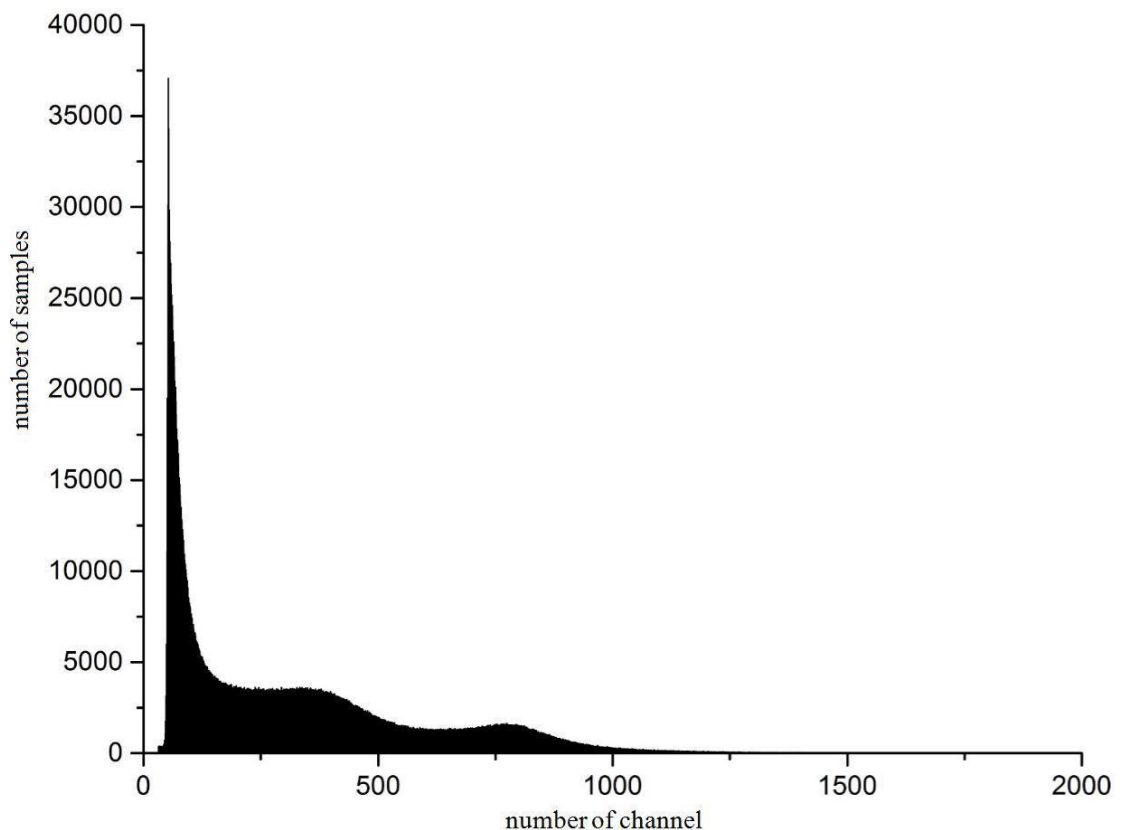


Figure 1 – The energy spectrum of the decay of ^{44}Ti

2.2 The principle of operation of the analog spectrometer for measuring the lifetime of positrons

The installation consists of traditional fast circuit, which includes a high voltage power supply (FAST ComTec NHQ 203M), two scintillation detectors (Hamamatsu H3378-50), two fast differential discriminators (FAST ComTec model 7029A), a nanosecond delay unit (Canberra model 2058), the time – to-digital converter (FAST ComTec dual TADC 7072T), multiparameter multichannel analyzer (FAST ComTec MPA4) and a personal computer. Spectrometer lifetime of positrons is shown in figure 2.

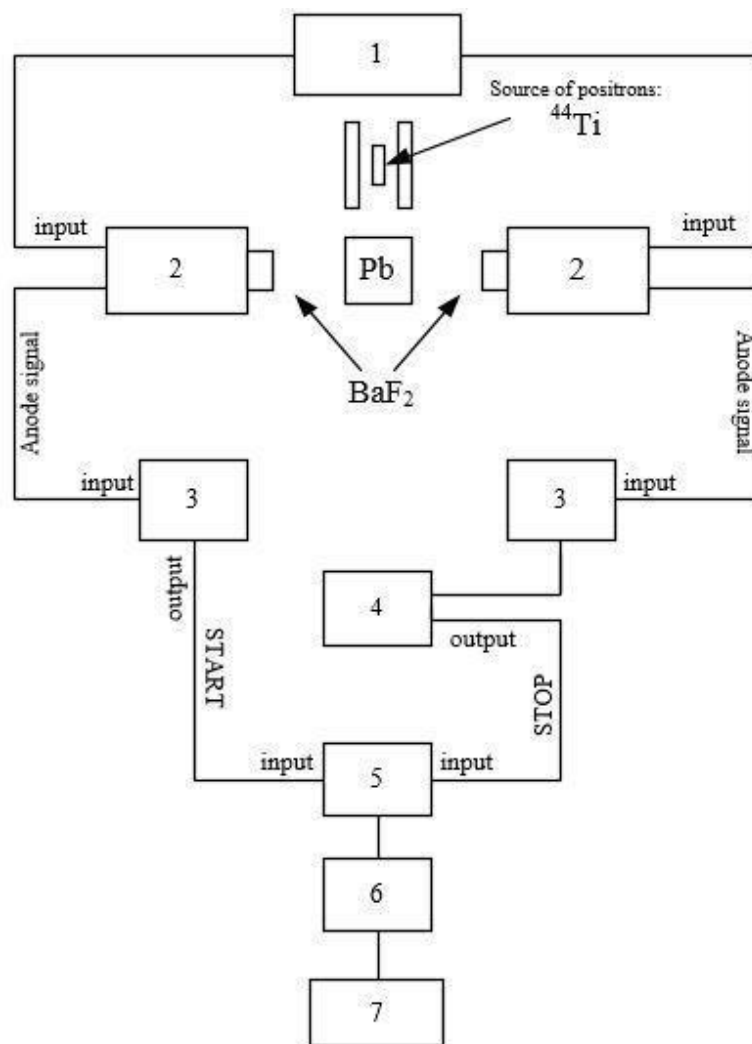


Figure 2 – Spectrometer lifetime of positrons, where 1 – high voltage power supply, 2 – photomultiplier tube, 3 – discriminator constant component, 4 – nanosecond unit of delays, 5 – time-to-digital converter, 6 – multiparameter analyzer, 7 – personal computer.

As a positron source the radioactive isotope ^{44}Ti (β^+ , γ) with the activity of 24,5; 34,4; 67,5 mCi and maximum positron energy of 1,467 MeV was used. The source was made by CJSC «Cyclotron», Obninsk, Russian Federation. This isotope can be used for positron lifetime measurements because in the process of its β -decay, almost simultaneously with the birth of the positron, the γ -quantum with the energy of 1,157 MeV is emitted.

The advantages of the ^{44}Ti positron source in comparison with the traditional ^{22}Na are:

- High yield of positrons (about 97%);
- Longer working lifespan of the source, due to the greater half-life (47,4 years);
- Higher energy of positrons allows investigation the substance at the depth 3 times deeper than the penetration depth of positrons from ^{22}Na ;
- Increased mechanical strength of the source due to the presence of protective titanium capsule.

The disadvantage of protective capsule is relatively high contribution of the positron annihilation process in the material capsules made of titanium VT1-0.

Positron source is located between two samples of material, forming the so-called «sandwich geometry». The main advantage of this geometry is that the positrons emitted from the source, directly penetrate into the sample, what allows measurements in air. Events corresponding to the appearance of a nuclear γ -quantum recorded by scintillation detector are called start-signals. Once the positron penetrates into the matter, it loses its kinetic energy in the elastic and inelastic scattering and then annihilates with the electron environment, forming two annihilation γ - rays of energy 0,511 MeV, one of which is recorded by another detector and become the stop-signal. Registration of γ -quanta is realized by two scintillation detectors based on scintillators BaF_2 and the photomultiplier tubes (PMT).

Detectors are powered by two-channel high-voltage power supply. The pulses from the detectors are fed to the discriminator, where the amplitude selection and timing of the front of the signal is carried out. The signal from the anode of the detector registering the start-signals is fed to the Differential Constant Fraction Discriminator, where the lower threshold is tuned in such a way when only the area of 1,157 MeV annihilation peak is captured. The anode signals from the detector of stop-signals are transmitted to the differential CFD with two (lower and upper) thresholds. Thresholds are adjusted to make a selection of pulses corresponding to the annihilation γ -quanta with energy of 0,511 MeV.

The start-pulses from the integral discriminator are fed directly to the start input of time-to-digital converter (TDC). The stop-pulses from the differential discriminator through the nano-second delay module are fed to the stop input of time-to-digital converter (TDC). Thus the measurement time between the nuclear (1,157 MeV) and annihilation (0,511 MeV) γ -rays is the lifetime of the positron in certain material.

2.2.1 Description design of the spectrometer

The following paragraphs provide a description of the spectrometer units and schemes of individual nodes. The spectrometer consists of the following elements:



Figure 3 – Multiparameter multichannel analyzer

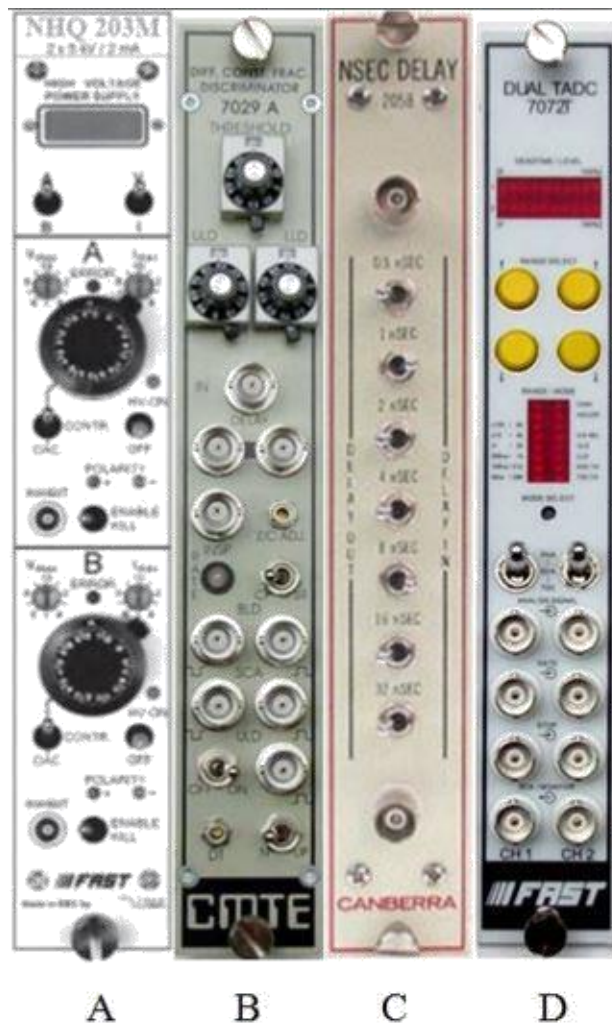


Figure 8 – A – high voltage power source B – a differential discriminator, C – block nanosecond of delay, D – time-to-digital converter.

2.2.1.1 High voltage power supply

The Models NHQ 203M supplies are a two channel high voltage version in a NIM chassis. Modern patented circuit principles in connection with the latest SMT manufacturing technologies permit the design and construction of very compact high voltage supplies with excellent specifications.

All NHQ models are 1 slot wide, and offer either manual control or operation via RS232 Interface. The use of this interface supports more than the manual control functionality.

The high voltage supplies provide high precision output voltages together with very low ripple and noise, even under full load. Separate 10%-step hardware

switches enable to set voltage and current limits. An INHIBIT input provides instant shutdown to protect sensitive detector devices.

Additionally, the maximal output current per channel is programmable via the interface. The high voltage outputs protected against overload and short circuit. The output polarity can be selected by manual rotary switches accessible from the side of the module without having to take the side-cover off.

The output voltage can also be set by software through the RS232C interface. The chosen polarity is displayed by a LED on the front panel and a sign on the LCD display. It is not allowed to change the polarity under power! An undefined switch setting (not at one of the end positions) will cause no output voltage.

For effective protection of connected devices the maximum output voltage and current can be selected in 10%-steps with the rotary switches $V_{\max}$ and $I_{\max}$ (switch dialed to 10 corresponds to 100%). An output voltage or current exceeding the set limit is signalled by the red front panel error LED.

2.2.1.2 Block of scintillation detectors

Detectors are the main node in the device for determining the time resolution of the spectrometer. The spectrometer uses two identical design of the block detectors, which consist of a scintillator and a photoelectron multiplier (PMT).

A scintillator is the substance that has the ability to emit a flash of light in the case when there is absorption of ionizing radiation (γ -rays). The scintillation detector is made of scintillator where the ionizing particles emit a flash of light, and a photomultiplier which converts the light flash into an electrical current pulse.

This scheme uses two scintillation detectors Hamamatsu H3378-50 on the basis of the crystal BaF_2 . The crystals of barium fluoride have a special place in the physics of nuclear radiation. Such scintillators are used in the devices having a high counting speed of events. Such scintillators are particularly important in the devices with high count rate events, as well as to improve the operation of the detection unit of the spectrometer. Nowadays, the BaF_2 crystal in many respects superior to the resolution of scintillator-based plastic, this crystal has good characteristics: high speed flashing and good energy resolution. The energy spectrum of the scintillation detectors is shown in figure 5.

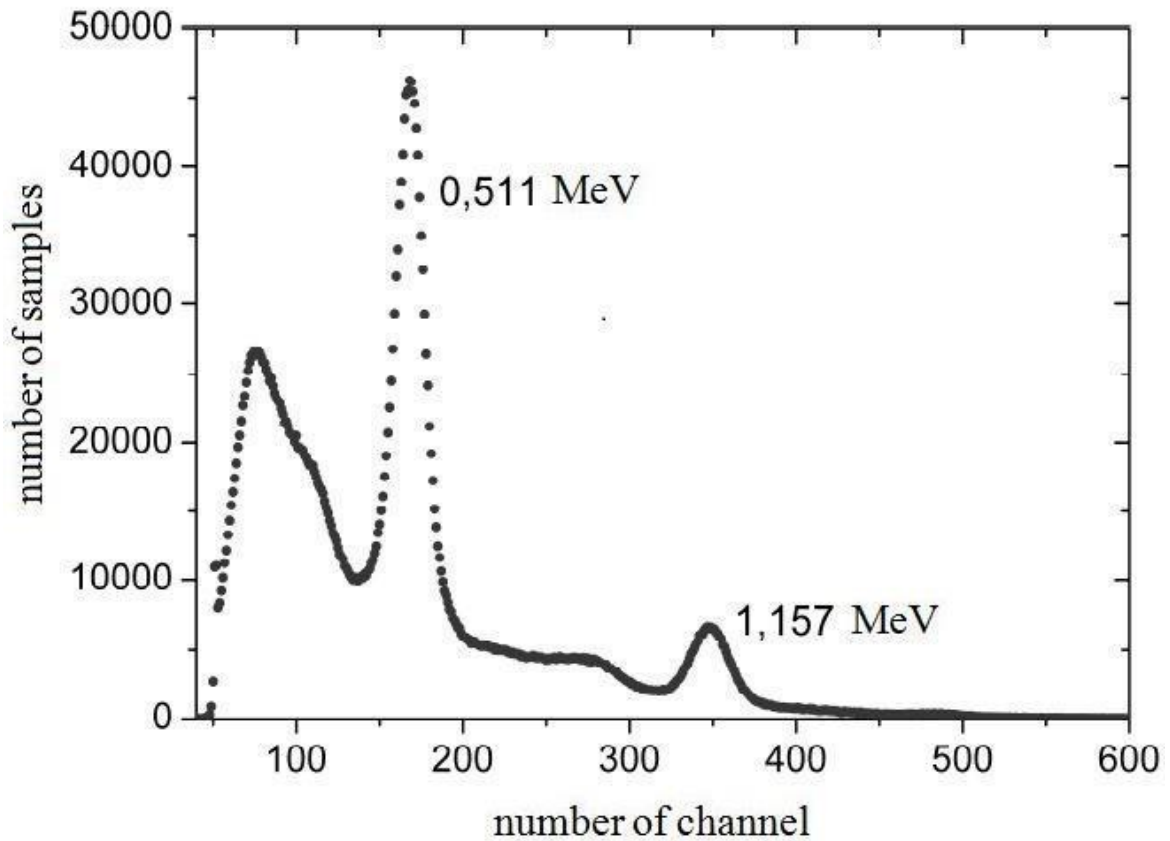


Figure 5 – Energy spectrum on the basis of the scintillator BaF_2

Photomultiplier tube (PMT) is a vacuum device, where the flow of electrons, which are emitted by the photocathode under the action of optical radiation, as a consequence, the gain of particles in multiplier system due to secondary electron emission. The initial photocurrent is significantly less than the current in the anode circuit. The photo-electronic multiplier with an attached scintillator BaF_2 is shown in figure 6.

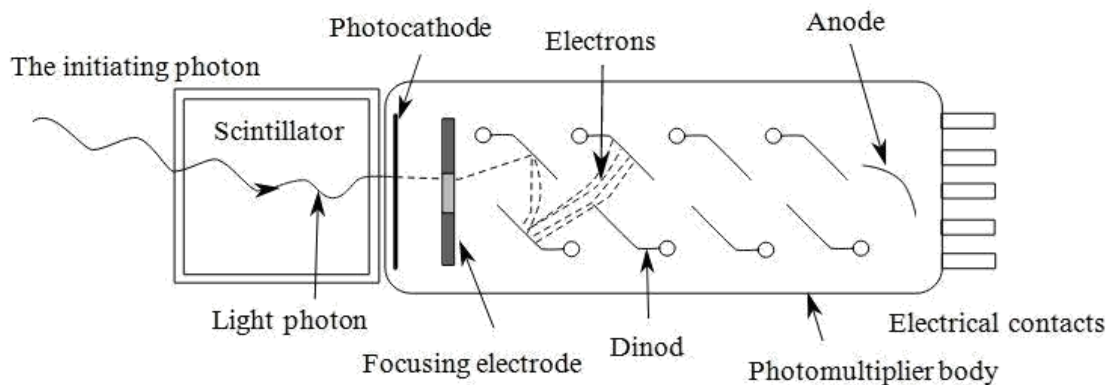


Figure 6 – Photo-electronic multiplier with an attached scintillator BaF_2

The structure of the photoelectric multiplier represents the inlet chamber, multiplying dynode system, an anode and additional electrodes. The device is made in the form of balloon in a vacuum housing in which a glass or quartz window through which light falls on the photosensitive element is the photocathode. The photocathode, in turn, emits electrons, and they are multiplied in special electrodes, called dinode. At the end of the dynode chain is the anode or the collective electrode. The current that flows through the anode is proportional to the photocurrent generated by the photocathode.

The thickness of the photocathode is an important parameter. The thicker the photocathode, the more photons are absorbed with a smaller quantity of emitted electrons. The less photocathode layer, the more photons pass through it without absorption. The electrons running through the photocathode are accelerated by the dynode chain. Very often, the focusing electrodes are used, which direct all the photoelectrons coming from the photocathode to the first dinod. When the photoelectron hits in the first dinod, it causes secondary electron emission, increasing its magnification, they are accelerated by the dynode chain from one to the next. Multiplication depends on the voltage between dinode and the total number of dynodes.

Table 1 shows the main characteristics of the Hamamatsu H3378-50 photoelectric multiplier.

Table 1 – Main characteristics of the photomultiplier

Factory model number	H3378-50
Type	Fast PMT
Size	51 mm
Effective area	46
Type of cathode	Two-alkaline
Peak wavelength	420 nm
Peak radiative sensitivity	80 mA / V
Input window material	Quartz glass
Minimum wavelength	160 nm
Maximum savelength	650 nm
Sensitivity of the photocathode to the light flux	80 ICA / lm
Anode sensitivity to light flux	200 A/ lm
Amplification factor	$2,5 \cdot 10^6$
Dark current	100 mV

2.2.1.3 Differential discriminator

This scheme uses two differential discriminators (FAST ComTec model 7029A). The discriminator output signal pulse whose amplitude lies within specified limits. In this device there are two discrimination thresholds – an upper and a lower. The window width is the difference between the two thresholds. An important characteristic of the discriminator is the input sensitivity, i.e. the nominal voltage of the input signal. To improve the temporal resolution of the spectrometer, the need to minimize the number of false positives differential discriminators pulses from the energy of which is not consistent with the values of the annihilation and nuclear γ – quantum. The energy spectrum with thresholds of discrimination shows in fig. 7.

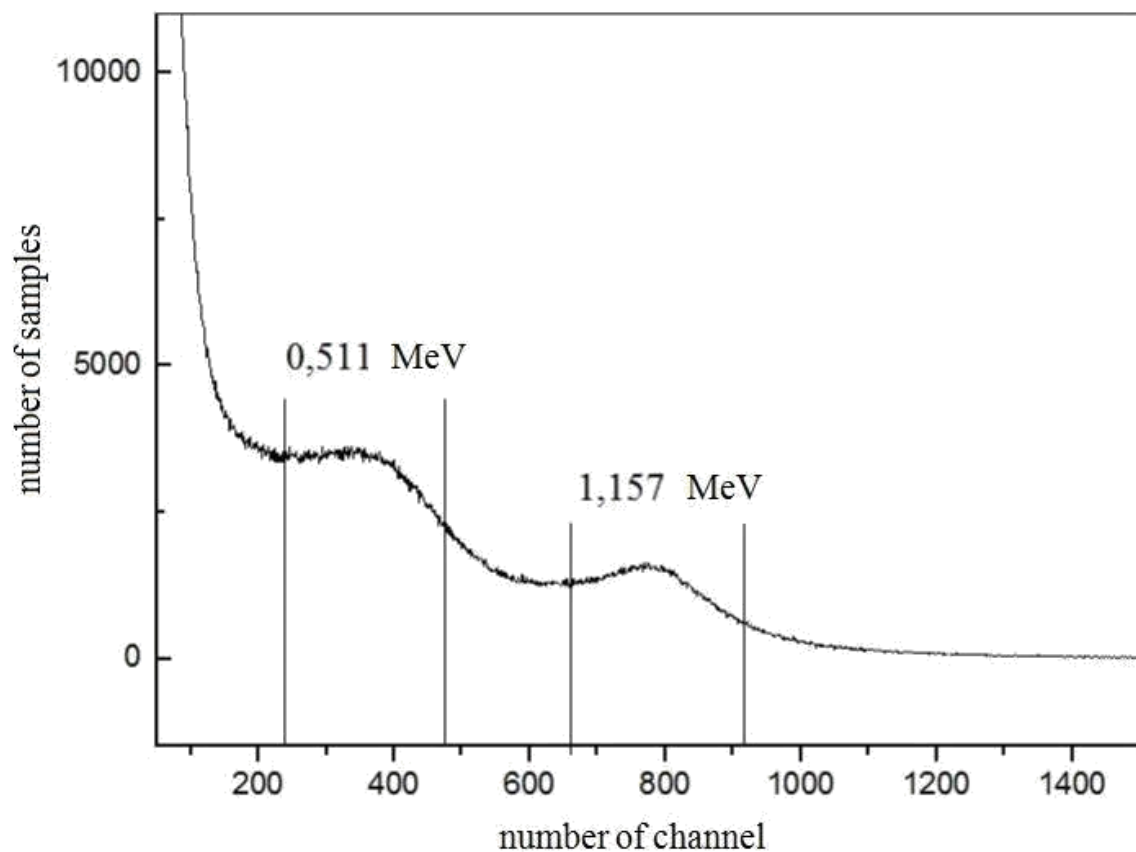


Figure 7 – Energy spectrum with the configured thresholds of discrimination

The model 7029A is a fully dc coupled discriminator which can be simultaneously used as a normal Constant Fraction Discriminator (BLD part) and as a Differential Constant Fraction Discriminator (SCA part) with upper and lower level settings that allow precise selection of energy ranges from which the timing signal is to be derived. The unit provides optimum time resolution for many detector types and applications either using the slow risetime reject mode (SR) or the constant fraction mode of operation.

2.2.1.4 The unit nanosecond of delay

The Model 2058 Nanosecond Delay permits the delay of linear or logic signals up to 63,5 ns in 0,5 ns steps. Since the delays are accomplished by means of interconnected coaxial cables, no power is required for operation of the module. Seven front panel toggle switches allow the selection of 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 or 32 ns of delay time. These delays may be added in any combination. Delay times greater than 63,5 ns may be obtained by cascading several Nanosecond Delay units. The Model 2058 is useful in aligning fast timing channels which operate coincidence circuits or time to amplitude converters. The high degree of accuracy in delay time

selection is an aid to the calibration of such equipment. Table 4 presents the main characteristics of nanosecond unit of delays.

Table 2. Main characteristics

Working range	0,5 – 63,5 ns
Operating temperature range	0 – 50 °C
Operating humidity	from 0 to 80%
Accuracy of delay	± 20 ps
Size	3,43 x 22,12 cm
Mass	0,8 kg

2.2.1.5 Time-to-digital converter

The Model 7072T is a unique dual channel device that can operate either as an ultra fast pulse height analyzing analog-to-digital converter (PHA ADC) with a fixed conversion time of 500 ns, a time-to-digital converter (TDC) or a sampling voltage analyzer (SVA ADC). The 7072T is ideally suited for high counting rate applications in Energy and Time Spectroscopy. The combined ADC / TDC function finds applications in time resolved photon-, ion-, neutron- and X-ray imaging. The built-in Single Channel Analyzer (SCA) has a separate output on the front panel. This output can be used in the ADC modes in such applications as Moessbauer Spectroscopy. The same connector is used as analog output for monitoring the TAC (Time-to-Amplitude Converter) in TDC mode and four different threshold levels when they are set in the ADJUST mode. In the SVA mode a voltage level or waveform can be sampled when a GATE signal is applied.

2.2.1.6 Multiparameter (multichannel) analyzer

The MPA4 Multiparameter System is an ultra fast listmode multichannel data acquisition system featuring performance and measurement capabilities previously not known in commercially available multiparameter systems. Multichannel analyzers don't provide the ability to produce a sweep speed which is more than 10^7 channel/sec.

Multiparameter data acquisition system MPA4 is used in this work. The system is designed as a superfast system with input ports (8-port). In the device 16-bit ports can be combined into a 32-bit or even 64-bit ports.

This analyzer is used for:

- a) data collection mode ultra-fast single-parameter mode
- b) ultra fast detection and display of multiple spectra

Conclusion

Methods of electron-positron annihilation (EPA) have proven to be effective laboratory techniques for precision studies of electron and defect structure of materials in solid state physics and material science.

Currently, positron annihilation lifetime spectrometry (PALS) is one of the most sensitive (10^{-7} vacancies / atom) tools for defects inspection. Positron lifetime spectrometers are used to determine the size of nanoobjects (vacancies, vacancy clusters), open volume defects, voids, and their concentrations in porous systems, defective materials, nanomaterials and semiconductors.

Thus, in this chapter we consider an experimental setup for measuring the lifetime of positrons in various materials, as well as the principle of operation of the spectrometer. This spectrometer is used for determining the size of nanoobjects (vacancies), cavity free volumes of pores, their concentration in most of the defective semiconductors and nanomaterials.