

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт	Физико-технический
Направление подготовки	03.04.02 Физика
Кафедра	Общей физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка системы для послойного анализа дефектной структуры твёрдых тел методами позитронной аннигиляции

УДК 539.21.539.124.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ51	Ли Кэ		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С.	к.т.н., ассистент		
Ассистент	Бордулев Ю.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т. Г.	Канд.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общая физика	Лидер А.М.	к.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе высшего профессионального образования,
направление подготовки 03.04.02 Физика
квалификация - магистр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического мастерства
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания, методы исследования в области профессиональной деятельности, при получении и исследовании материалов атомной промышленности и наноматериалов
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ51	Ли Кэ

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Физика конденсированного состояния вещества

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): Материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>1. Стоимость материалов. 2. Зарплата руководителя проекта. 3. Зарплата исполнителей проекта.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>1. Нормы рабочего времени, выполнения проекта</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>1. Ставка налога отчисления во внебюджетные фонды. 2. Процент дополнительной заработной платы.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Оценка конкурентоспособности проекта 2. Планирование работ в течении осуществления проекта.</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>1. Планирование и расчет бюджета научной-исследовательской работы.</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической</i>	<i>1. Определение эффективности и перспектив научного исследования.</i>

<i>эффективности исследования</i>	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ 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	Рыжакина Т.Г.	Канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ51	Ли Кэ		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ51	Ли Кэ

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Физика конденсированного состояния вещества

Тема дипломной работы: Разработка системы для послойного анализа для исследования дефектной структуры твердых тел методами позитронной аннигиляции.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Целью данной работы создание аналого-цифрового спектрометрического комплекса для послойного анализа дефектной структуры материалов и его тестирование на примере циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

Описание рабочего места на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды
(для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения радиоактивности на рабочем месте, исключить контакт с вредными, радиоактивными веществами – ^{44}Ti , которые могут использоваться в процессе работы установки, обеспечить безопасные используемые методы электромагнитного напряжения от риска утечки.);
- опасных проявлений факторов производственной среды
(в связи с присутствием радиоактивного вещества для питания позитронов, наличии свинцовых кирпич необходимо предусмотреть. Если ситуация не контролируется, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от воздействия радиации);
- необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций – человеческий фактор, утечка низкотемпературного жидкого азота, потеря небольших радиоактивных источников.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;
 - б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);
 - в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;
 - г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
 - предлагаемые средства защиты
(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности
 - а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;
 - б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие –

нет), маркировка; пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).	
3.	Охрана окружающей среды: организация безотходного производства (приводится перечень радиоактивных веществ при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации).
4.	Защита в чрезвычайных ситуациях: – Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия – разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
5.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);
Перечень графического материала: 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
06М51	Ли Кэ		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 03.04.02 Физика
Кафедра Общей физики
Уровень образования – Магистр
Период выполнения (весенний семестр 2016/2017 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)
08.05.2017	Обзор литературы	20
20.05.2017	Объект и методы исследования	25
25.05.2017	Расчет и аналитический анализ	25
05.06.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
05.06.2017	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ОФ	Лаптев Р. С.	к.п.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общая физика	Лидер А.М.	к.ф.-м.н., доцент		

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Лидер
А.М.

(Дата)
(Ф.И.О.)

на выполнение выпускной квалификационной работы

Магистерской диссертации

Группа	ФИО
0БМ51	Ли Кэ

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Цель работы: создание спектрометрического комплекса для послойного анализа дефектной структуры материалов и его тестирование на примере циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор, включающий методы электроно-позитронной аннигиляций. 2. Разработка системы для послойного анализа методами позитронной аннигиляции 3. Послойный анализ наводороженного циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением. 4. Измерение и сравнительный анализ зависимости распределения гидрида от глубины образца. 5. Обсуждение результатов работы.
Перечень графического материала	Графики зависимости характеристики позитронной аннигиляций, графики зависимости твердости образца от глубины,
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Ассистент каф. ОФ Лаптев Р. С.
Материал и методы исследования	Ассистент каф. ОФ Лаптев Р. С.
Результаты эксперимента	Ассистент каф. ОФ Лаптев Р. С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Профессор д.т.н. Федорчук Ю.М.
Социальная ответственность	Доцент Канд.экон.наук Рыжакина Т. Г.
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
Ассистент каф. ОФ	Лаптев Р. С.	к.п.н., ассистент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ51	Ли Кэ		

Приложение А

Глава № 1

Theoretical part

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ51	Ли Кэ		

Консультант кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯФТИ	Емельянов И.Л.	к.с.н		

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Направление: Физика конденсированного состояния вещества

Кафедра: Общей физики

**Разработка системы для послойного анализа дефектной структуры
твердых тел методами позитронной аннигиляции**

(на соискание квалификации магистр)

Магистерская диссертация

(Обозначение документа)

Студент группы ОБМ51

Ли Кэ

Руководитель, к.ф.-м.н

Лаптев Р. С.

Бордулев Ю. С.

ТОМСК – 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Общей физики»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____ /А. М. Лидер

подпись

И.О.Фамилия

«_____» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Студенту Ли Кэ

**1.Тема выпускной квалификационной работы «Разработка системы для
послойного анализа для исследования дефектной структуры твердых тел
методами позитронной аннигиляции»**

(утверждена распоряжением по ФТИ) от _____ № ____

2.Срок сдачи студентом готовой работы _____ г.

3.Исходные данные к работе

Источник позитронов на основе ^{44}Ti , аналоговое оборудование для спектрометрического тракта, сцинтилляционные детекторы, полупроводниковые детекторы, цифровой дигитайзер, программное обеспечение, образцы циркониевого сплавы после насыщения водорода.

4.Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Введение

Глава 1. Теоретическая часть

1.1 Физические основы методов электрон-позитронной аннигиляции

1.1.1 Источники позитронов

1.2 Метод спектрометрии Допплеровского уширения аннигиляционной линии

1.2.1 Теория спектра ДУАЛ

1.2.2 Установка для послойного анализа

Глава 2. Экспериментальная реализация послойного анализа методами ЭПА

2.1 Эксперимент I. Оценка пространственного разрешения системы

2.2 Эксперимент II. Тестирование установки на бездефектных материалах

2.2.1 Статистика расчета сигналов

2.2.2 Определяем значения S-параметров для наших спектров

2.3 Эксперимент III. Анализ образцов с контролируемым распределением дефектов по глубине

2.3.1 Обработка и результаты

Глава 3. Послойный анализ дефектной структуры циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода методами ЭПА

Вывод

Список используемых источников

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

5.1.

С 1 по 3 слайд представлена тема данной работы, актуальность, цель работы и задачи.

5.2.

На 4 слайде представлены физические основы.

5.3.

На 5 слайде представлен чертеж системы коллимации.

5.4.

На 6 слайде представлена схема системы для послойного анализа.

5.5.

На 7 слайде представлена схема установки для тестирования системы коллимации.

5.6.

На 8 слайде представлены результаты тестирования.

5.7.

На 9 слайде представлена схема установки для послойного анализа и ее внешний вид.

5.8.

На 10 слайде представлены результаты для эксперимента с применением бездефектного образца.

5.9.

На 11 слайде представлена схема и внешний вид образца с контролируемым распределением дефектов.

5.10.

На 12 слайде представлен результат послойного анализа образца с контролируемым распределением дефектов.

5.11.

На 13 слайде представлена схема и внешний вид образца гидридного «обода» сплава Э110.

5.12.

На 14 слайде представлена Зависимость S-параметров от пространственного распределения в образце циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

5.13.

На 15 слайде представлена Зависимость твердости от пространственного распределения в образце циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

5.14.

На 16 слайде представлены основные выводы по проделанной работе.

5.15.

На 17 слайде представлены положения, выносимые на защиту.

Графический материал представлен в PowerPoint. Число слайдов – 18.

6.Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

6.1.

Емельянов И. Л. (английский язык)

7.Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы

«__» _____ 201_ г.

Руководители:

/Р. С. Лаптев
(подпись, дата)

/Ю. С. Бордулев
(подпись, дата)

Задание принял к исполнению (студент):

/Кэ Ли
(подпись, дата)

Реферат

Выпускная квалификационная работа 124 с., 38 рисунков, 22 таблицы, 53 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: позитронная аннигиляция, послойный анализ, циркониевые сплавы, водород, Доплеровское уширение, дефекты.

Объектом исследования является циркониевый сплав после насыщения водородом из газовой фазы. Образец был отшлифован, покрыт слоем Ni (метод магнетронного распыления; 1 мкм) и насыщен водородом из газовой фазы (350 С; 2 атм.).

Цель работы – создание спектрометрического комплекса для послойного анализа дефектной структуры материалов и его тестирование на примере циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

Работа направлена на реализацию послойного анализа методом электрон-позитронной аннигиляции для исследования образцов с неравномерным распределением дефектов.

В результате исследования была установлена динамика изменения дефектной структуры материала с неравномерно распределенным поверхностным гидридным слоем по результатам послойного анализа параметров формы спектра ДУАЛ. Была выявлена группа точек S-параметра, характеризующих дефектную структуру на разных слоях. Высокая концентрация дефектной структуры определена в поверхностном слое образца (до 80 мкм); с увеличением глубины (до 200 мкм), концентрация дефектов снижается, что свидетельствует о неравномерном распределении гидридов; с дальнейшим увеличением глубины, содержание гидроксида также снижается до тех пор, пока не исчезнет.

В первой главе описаны физические основы методов электрон-позитронной аннигиляции и системы для послойного анализа.

Во второй главе описана реализация системы для послойного анализа и эксперименты для ее тестирования.

В третьей главе описано применение разработанной системы для послойного анализа дефектной структуры циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 7.0.

Оглавление

Введение.....	20
Глава 1. Теоретическая часть	22
1.1 Физические основы методов электрон-позитронной аннигиляции.....	22
1.1.1 Источники позитронов	23
1.2 Метод спектрометрии Допплеровского уширения аннигиляционной линии	37
1.2.1 Теория спектра ДУАЛ.....	37
1.2.2 Установка для послойного анализа.....	44
Глава 2. Экспериментальная реализация послойного анализа методами ЭПА	47
2.1 Эксперимент I. Оценка пространственного разрешения системы.....	47
2.2 Эксперимент II. Тестирование установки на бездефектных материалах..	49
2.2.1 Статистика расчета сигналов.....	51
2.2.2 Определяем значения S-параметров для наших спектров.....	55
2.3 Эксперимент III. Анализ образцов с контролируемым распределением дефектов по глубине	58
2.3.1 Обработка и результаты	61
Глава 3. Послойный анализ дефектной структуры циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода методами ЭПА	64
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	68
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	69
4.2 SWOT-анализ.....	71
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	76
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	77
4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	78
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	82

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	85
4.5.1 Динамические методы экономической оценки инвестиций	86
4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	91
Вывод.....	94
Глава 5. Социальная ответственность.....	94
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	95
5.1.1 Метеоусловия	95
5.1.2 Радиоактивность	96
5.1.3 Освещенность.....	97
5.1.4 Электрическое напряжение	100
5.1.5 Воздействие низкой температуры.....	100
5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	101
5.2.1 Факторы электрической природы	101
5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы.....	103
5.3. Охрана окружающей среды	105
5.4 Защита в ЧС	106
5.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	108
Заключение	110
Вывод.....	110
Список используемых источников.....	110
Introduction	115
1. Physical foundations of the positron annihilation methods	116
1.1 Sources of positrons	118
1.1.1 Gamma quanta	118
1.1.2 Radioactive sources	118
2. Stages of positron life in the material	119
3. Setting for layer analysis.....	120

List of references	123
--------------------------	-----

Введение

Методы электрон-позитронной аннигиляций (ЭПА) являются одними из самых чувствительных (чувствительность 10^{-7} вакансий/атом) методик для исследования дефектной структуры [1]. Методы ЭПА способны определять типы, размеры и концентрации дефектов в материалах.

Метод спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ), являясь одним из методов ЭПА, дает информацию об импульсном распределении электронов в материале и дефектах различного типа [1,53]. Диапазон позитронной имплантации в методе ДУАЛ составляет величину до нескольких сотен микрометров [3]. Таким образом, методы ЭПА, являющиеся неразрушающими методами, могут быть использованы для высокоточного обнаружения дефектов на атомном уровне [4].

Однако, во многих практических ситуациях, распределение дефектов в материале по глубине является неравномерным (например – дефекты в циркониевых ТВЭЛах ядерных реакторов [2]). В своей базовой конфигурации, детекторы могут зарегистрировать сигналы от любых направлений, то есть сигналы, полученные от позитронов, аннигилирующих в любых слоях, детекторы все равно получают. Методы ЭПА дают только интегральную информацию о дефектной структуре и не предназначены для исследования дефектной структуры на отдельных слоях. Поэтому необходимо применять инструменты, способные послойно исследовать неравномерно-распределенные дефекты материалов.

Эта проблема была решена с реализацией установки для послойного анализа. Установка состоит из модуля детектирования (спектрометр ДУАЛ) и системы коллимации, состоящей из щели и микрометра. Щель может фильтровать сигналы, микрометр может регулировать местоположение исследуемого образца относительно щели. Благодаря этому, данная установка может использоваться для послойного анализа на базе методов ЭПА.

Для тестирования работы установки была выбрана система цирконий-водород в качестве объекта исследования. В настоящее время сплавы циркония широко используются в качестве топливных стержней в водородных ядерных реакторах [5]. В эксплуатационных условиях циркониевый материал поглощает водород [6, 7], количество которого превышает растворимость и образует - гидрид циркония. Из-за меньшей плотности и большей хрупкости, гидрид приводит к разрушению ТВЭЛа [8]. Во многих циркониевых сплавах наблюдается формирование неравномерного распределения гидрида по глубине (т.н. гидридный обод) в процессе эксплуатации [9]. Это приводит к такому явлению, как замедленное гидридное растрескивание (ЗГР) [9]. Для предотвращения подобных эффектов, необходимо обладать информацией о распределении дефектов по глубине в сплавах циркония с гидридным ободом.

Таким образом, **целью** данной работы является создание спектрометрического комплекса для послойного анализа дефектной структуры материалов и его тестирование на примере циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Разработка и реализация установки для послойного анализа.
2. Апробация установки на бездефектном материале, а также на материале с известным распределением дефектов.
3. Применение разработанной системы для послойного анализа дефектной структуры циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением гидрида.

В данной работе была разработана и реализована система для послойного анализа дефектов на основе спектрометра Доплеровского уширения аннигиляционной линии. В качестве источника позитронов применяется радиоизотопный источник ^{44}Ti . Реализация данной методики позволяет проводить послойный анализ дефектной структуры материалов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Реализована установка для послойного анализа дефектов, основанная на спектрометре Доплеровского уширения аннигиляционной линии.

2. Получены результаты послойного исследования дефектной структуры сплава Zr Э110 с гидридным ободом на поверхности.

Личный вклад автора заключается в разработке и реализации системы для послойного анализа, подготовке апробационных образцов с контролируемым распределением дефектов, проведении экспериментов, анализе спектров, обработке и обсуждении результатов.

Глава 1. Теоретическая часть

1.1 Физические основы методов электрон-позитронной аннигиляции

Физические основы метода электрон-позитронной аннигиляции подробно рассмотрены в классических работах [10, 12-17].

Позитрон является первой античастицей, определяемой как e^+ (античастица электрона). Это было предсказано П.А.М. Дираком в 1928 году как интерпретация отрицательных решений для энергии в квантовой теории электронов. Первое экспериментальное доказательство существования позитрона было проведено Андерсоном во время его экспериментов по изучению космических лучей с помощью камеры Уилсона. Поскольку позитрон - античастица электрона, он неустойчив в веществе. После попадания в материал, позитрон теряет энергию (термализуется), диффундирует и аннигилирует, взаимодействуя с одним из электронов среды. Процесс термализации включает в себя потерю энергии позитрона с помощью электронного и фононного возбуждения [11]. Позитроны, рождаемые в реакции β -распада, проникая в материал, и испытывая процессы неупругого столкновения с другими частицами, быстро теряют кинетическую энергию до теплового уровня. Диффундируя по решетке, термализованные позитроны аннигилируют с окружающими его

электронами, и производят два γ -кванта, имеющие в сумме ту же энергию, что и энергия электрон-позитронной пары [18]. Локальная электронная плотность в месте аннигиляции влияет на скорость аннигиляции позитрона [11]. Кроме того, если позитроны захватываются дефектами, время жизни позитронов будет больше. Таким образом, методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) могут быть использованы для исследования локальной электронной плотности твердых тел и дефектной структуры материалов, а также имеют самую высокую чувствительность к дефектам структуры (чувствительность 10^{-7} вакансий/атом) [1].

В настоящее время, методы электрон-позитронной аннигиляции играют важную роль для исследования материалов, особенно для измерения размеров дефектов структуры твёрдого тела, используемых в атомной и электронной промышленности. Эти методы могут определять виды дефектов при анализе эмиссии гама квантов. Конкретными методами ЭПА являются:

1. Метод спектрометрии по времени жизни позитронов (СВЖ позитронов), используемый для прецизионного исследования дефектной структуры материала, определения концентрации, размера и типа дефектов материала.
2. Метод спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) дает информацию об импульсном распределении электронов в материале и дефектах различного типа.
3. Метод углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ), который также дает информацию об импульсном распределении электронной структуры в материале.

1.1.1 Источники позитронов

Для того, чтобы использовать метод ЭПА для исследования, необходимо получить позитроны. Для этого существует несколько способов. В настоящее время наиболее распространённые источники позитронов – это

высокоэнергетичные гамма-кванты и радиоактивные источники. Ниже данные типы описаны более подробно.

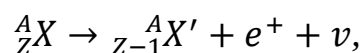
1.1.1.1 Гамма кванты

Гамма-кванты, обладающие энергией более чем в два раза больше энергии покоя электрона (1,022 МэВ), проходя вблизи ядра, поглощаются, и их энергия превращается в электрон-позитронные пары. Этот метод эффективно используется во многих лабораториях. Преимущество этого метода состоит в том, что он легко позволяет получать импульсные позитронные пучки для послойных измерений вещества с помощью измерения времени жизни позитронов [19].

1.1.1.2 Радиоактивные источники

В экспериментах с использованием методов ЭПА чаще всего используются радиоактивные изотопы, которые должны иметь подходящие периоды полураспада, например, ^{22}Na , ^{64}Cu , ^{60}Co и ^{44}Ti [11]. Основные свойства изотопов, используемых в экспериментах ЭПА, представлены в Таблице 1. В экспериментах часто используется ^{22}Na с максимальной энергией позитронов 0,545 МэВ, и с периодом полураспада 2,6 года. В процессе распада данного изотопа, наблюдается испускание позитрона и ядерного γ - кванта почти одновременно [20, 21].

Реакция β^+ - распада описывается следующим уравнением:



где X – материнское ядро, X' – дочернее ядро Z и A – зарядовые и массовые числа, e^+ – позитрон, ν нейтрино [22].

Таблица 1 – Основные свойства некоторых источников позитронов, используемых в методах ЭПА [23].

Изотоп	Период полураспада	Выход позитронов	Максимальная энергия позитронов, МэВ	Энергия вторичного γ -кванта, МэВ	Число вторичных γ -квантов
^{13}N	9,96 мин.	1	1,20		0
^{15}O	123 с.	1	1,74		0
^{18}F	110 мин.	0,97	0,635		0
^{19}Ne	17,4 с.	1	2,22		0
^{22}Na	2,6 лет	0,9	0,545	1,274	1
^{26}Al	$8 \cdot 10^5$ лет	0,85	1,17	1,81	1
^{44}Ti	47 лет	0,94	1,47	1,156	1
^{48}V	26 дней	0,50	0,696	1,312+0,983	2
^{58}Co	71 дней	0,15	0,474	0,811	1
^{57}Ni	36 часов	0,46	0,85	1,37	1
^{68}Ge	275 дней	0,88	1,90	1,078	0,017
^{89}Zr	79 часов	0,22	0,9		0

В лаборатории кафедры общей физики Томского политехнического университета используется радиоактивный титан ($^{44}_{22}\text{Ti}$). Высокое значение максимальной кинетической энергии позитронов, излучаемых данным изотопом (1,47 МэВ) позволяет исследовать более глубокие слои материалов. Изотоп обладает периодом полураспада 47 лет, что обеспечивает его длительный срок службы в качестве источника позитронов. Процесс β^+ -распада данного изотопа представлен ниже:

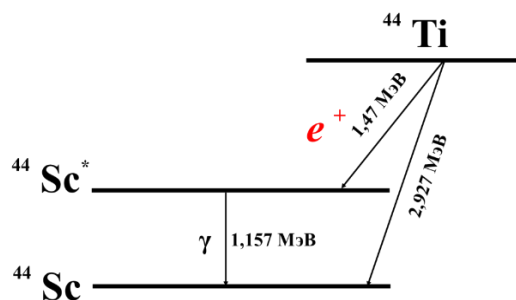


Рисунок 1. Процесс β^+ -распада изотопа ^{44}Ti

Ядро за очень короткое время возвращается в основное состояние, излучая один γ -квант. Этот ядерный γ -квант называется вторичным и используется в технологии СВЖ позитронов для регистрации момента рождения позитрона [1]. Основные характеристики источника позитронов ^{44}Ti представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики источника позитронов ^{44}Ti [24].

Радионуклид	Титан-44
Активность	24,5 мкКи (0,91 МБк)
Период полураспада	60 лет
Содержание радиоактивных примесей	$\leq 0,1 \%$
Загрязненность поверхности радиоактивными веществами	Не превышает 4,1 Бк
Материал капсулы и выходного окна	Ti, Ti (марка BT1-0)
Основные энергии гамма излучения, кэВ (квантовый выход, %)	67,8679 (93,0) 78,36 (96,4)

1.1.2 Этапы жизни позитрона в материале

Поскольку позитрон является античастицей электрона, он неустойчив в веществе. После попадания в вещество, время жизни позитрона можно

разбить на три этапа: термализация, диффузия и локализация. Процесс термализации происходит в очень короткий промежуток времени по сравнению с временем жизни позитронов. Время термализации оценивается в 3 - 4 пс. После этого движение позитрона осуществляется в виде диффузии. Наконец, позитрон локализуется, после чего жизнь позитрона подходит к концу при аннигиляции с электроном. Когда позитрон и электрон взаимодействуют через лобовое столкновение, они аннигилируют, превращая свою общую массу в энергию аннигиляционных гамма-квантов, согласно уравнению Эйнштейна ($E=mc^2$). Общее количество энергии, выделяющейся при электрон-позитронной аннигиляции составляет 1,022 МэВ, что соответствует энергиям комбинированной массы покоя. Чаще всего, аннигиляция протекает с образованием двух гамма - квантов. Каждый из них имеет энергию $511 \text{ кэВ} = m_0 \cdot c^2$ (m_0 - масса покоя электрона; c - скорость света в вакууме) в большинстве случаев. Процесс подчиняется некоторым общим законам сохранения, такие как сохранение энергии и импульса [11].

1.1.2.1 Термализация позитрона

Позитроны, проникающие в материал, в течение несколько пс в процессах неупругого рассеяния с атомами, быстро теряют кинетическую энергию до теплового уровня ($\sim 0.025 \text{ эВ}$) [25]. Время, затрачиваемое позитроном на процесс термализации, зависит от энергии позитрона и параметров среды и обычно не превышает нескольких пс [26]. Среднее время жизни позитронов в металлах лежит в интервале 100 – 200 пс. Таким образом, время термализации позитрона в материале составляет очень малую часть от общего времени жизни позитронов.

1.1.2.2 Диффузия позитрона

Основную часть жизни позитрон затрачивает на диффузию в решетке [26]. После того, как позитроны имплантируются в образец, то есть замедляются до тепловых энергий, они могут передвигаться на некоторое

расстояние, прежде чем проаннигилируют. Это должно учитываться при захвате позитронов дефектами, особенно при глубинном профилировании концентрации дефектов. Часто это передвижение (распространение) может описываться как диффузия в среде, имеющей некоторое распределение центров захвата, с заданными соответствующими граничными условиями, включающими внутренние границы раздела и свободную поверхность [27]. Через константу диффузии позитронов, D_+ , $1,5^{-3} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ в полупроводниках можно оценить среднюю длину диффузии позитронов L_+ , определяющуюся по формуле:

$$L_+ = (D_+ / \lambda_{eff})^{\frac{1}{2}},$$

где λ_{eff} является эффективная скорость аннигиляции позитронов [11].

Позитронное глубинное распределение в материале удовлетворяет следующей экспоненциальной зависимости.

$$p(x) = \alpha \exp(-\alpha x)$$

$$\alpha [\text{см}^{-1}] \approx 16 \frac{d \left[\frac{\Gamma}{\text{см}^3} \right]}{E_{\text{макс}}^{1,4} [\text{MeV}]},$$

где ρ – плотность среды, $E_{\text{макс}}$ – максимальная энергия [28]. Таким образом, вероятность того, что позитрон проникнет в материал на глубину z , убывает экспоненциально с ростом глубины. Среднюю глубину проникновения позитрона в материал можно описать следующей формулой:

$$\int_0^\infty P(z) dz = \frac{1}{\alpha}.$$

После того, как позитрон приходит в температурное равновесие с окружающей его средой, он продолжает свое движение, рассеиваясь в основном на фоновых решетках. Это рассеяние обычно является квазиупругим и не сказывается заметно на среднем импульсе термализованного позитрона. Движение такого позитрона в веществе близко к изотропному и может быть

описано теорией случайных блужданий [29]. Средняя длина диффузии позитрона определяется средним расстоянием от точки термализации позитрона до точки аннигиляции и несет информацию об области, исследуемой единичным позитроном. Средняя длина диффузии позитрона для металлов лежит в диапазоне 100 - 200 нм.

1.1.2.3 Захват позитрона дефектами

Позитрон может быть захвачен некоторыми структурными дефектами благодаря отсутствию отталкивающего потенциала положительно заряженных ионов решетки [1]. Аннигиляции позитронов в решетке называется аннигиляцией из свободного состояния. При наличии дефектов в твердых телах, таких как вакансии, дислокации, радиационные повреждения и др., позитрон будет аннигилировать из захваченного дефектами состояния, это называется электронной аннигиляцией захвата [28]. При электронной аннигиляции захвата, локальная электронная плотность будет низкой, в результате чего время жизни позитрона будет больше, и количество позитронов, аннигилирующих с электронами внешних электронных оболочек, будет больше. Таким образом, измеряя время жизни позитрона и Доплеровское уширение аннигиляционной линии, можно прецизионно исследовать дефектную структуру материала, определять концентрации, размер и тип дефектов материала, а также импульсное распределение электронов в материале и дефектах различного типа.

В твердом материале позитроны могут существовать в следующих двух состояниях: делокализованном в кристаллической решетке и локализованном в области дефектов различного кристаллического строения [30].

1.1.2.3.1 Делокализованное состояние позитрона в материале

Делокализованное состояние позитрона является состоянием, при котором, позитрон движется в бездефектной решетке и не захватывается дефектами [31].

Скорость аннигиляции позитронов прямо пропорциональна перекрытию электронной и позитронной плотности, в случае приближения локальной плотности

$$\lambda = \pi r_0^2 c \int n^-(r) n^+(r) g(0; n^-, n^+) dr \quad (1)$$

где $(0; n^-, n^+)$ это коррекционная функция пары электрон – позитрон, а r_0 и c классический радиус электрона и скорость света в вакууме, соответственно.

Скорость аннигиляции делокализованных позитронов может быть рассчитана из электронной (n^-) и позитронной (n^+) плотности в соответствии с уравнением (1):

$$\lambda = \pi r_0^2 c \int n^-(r) n^+(r) \gamma(n^-) dr \quad (2)$$

Корреляционная функция $\gamma(n^-) = \lim_{n^+ \rightarrow 0} g(0; n^-, n^+)$, описывает возрастание электронной плотности вблизи позитрона вследствие кулоновского взаимодействия между позитроном и электроном и называется фактором усиления [32].

Электронная плотность в бездефектной решетке не нарушается позитроном, поэтому она может быть определена без учета влияния позитронов. Скорость аннигиляции позитронов вычисляется на основе уравнения (2).

1.1.2.3.2 Локализованное состояние позитрона в материале

Локализованным состоянием является состояние позитронов, захваченных дефектами. Данное состояние более стабильное, чем делокализованное состояние. Потому что позитроны в данном состоянии имеют меньшую энергию. Переход позитронов из делокализованного состояния в локализованное называется захватом позитронов. [31, 32] В процессе захвата позитронов существуют два предельных случая:

1. Режим ограниченной диффузии, когда транспортный фактор контролируется. Транспортный фактор доминирует, когда скорость перехода

от свободного состояния в состояние захвата большая, и концентрация стохастических позитронов в области дефекта очень мала. Типичный пример – это захват позитронов на границе зерен, где потенциальная яма неглубокая. Скорость захвата: $k = 4\pi r_d D_+ C$, где k – скорость захвата позитронов, r_d – радиус дефектов, C – концентрация дефектов, D_+ – коэффициент диффузии позитронов. [33]

2. Режим ограниченного перехода или режим распространения, т. е процесс захвата зависит от выпуска энергии при переходе в несвободном состоянии. Например, захват позитронов в моновакансиях, где потенциальная яма глубокая. Скорость захвата: $k = \mu \cdot C$, где μ – коэффициент захвата позитронов, C – концентрация дефектов. [34]

В случае перехода, связь между состоянием позитронов в образце и их спектром времени жизни определена простой моделью захвата (simple trapping model, STM). Пусть $m(t)$ обозначает вероятность того, что позитрон присутствует в образце в момент времени t . Если образец бездефектный, то позитроны будут делокализовываться в материале. Обозначим время, когда термализация позитронов осуществилась, $t = 0$, и $m(t=0) = 1$. Вероятность уменьшается со временем: $m(t) = e^{-t\lambda_b}$, где λ_b – скорость аннигиляции позитронов в делокализованном состоянии.

Если в образце есть N видов дефектов, которые могут захватывать позитроны, то вероятность равна:

$$m(t) = \sum_{i=0}^N m_i(t), \quad (3)$$

где $m_0(t)$ и $m_i(t)$ – вероятности нахождения позитронов в свободном (делокализованном) состоянии или в захваченном состоянии в i -ом типе дефекта.

Динамическое равновесие захвата равно:

$$\frac{dm_j(t)}{dt} = -(\lambda_i + \sum_{j \neq i}^N K_{ij})m_i(t) + \sum_{j \neq i}^N K_{ji} m_j(t), \quad (4)$$

где λ_i обозначает скорость аннигиляции. Скорость аннигиляции в делокализованном состоянии позитронов: $\lambda_B = \lambda_0$, K_{ij} – скорость перехода позитронов из i -го состояния в j -ое состояние. Обычно энергия захвата позитронов в дефекте очень большая, поэтому выход позитрона из захваченного состояния невозможен. Это значит, что $K_{ij} = 0$ для $i \geq 1, j \geq 0$.

Следовательно, динамическое равновесие равно:

$$\frac{dm_0(t)}{dt} = -(\lambda_B + \sum_{j \neq 0}^N K_{0j})m_0(t), \quad (5)$$

$$\frac{dm_j(t)}{dt} = -\lambda_j m_j(t) + K_{0j}m_0(t), \quad (6)$$

Кроме этого, предполагается, что нетермализованные позитроны не могут быть захвачены, т. е

$$m_0(t = 0) = 1, m_j(t = 0) = 0, j = 1, 2, 3 \dots N. \quad (7)$$

Решение динамического равновесия (4) с краевыми условиями (5) равно:

$$m(t) = \left[1 - \sum_{j \neq 0}^N \frac{K_{0j}}{\lambda_B - \lambda_j + \varepsilon} \right] e^{-\lambda_f t} + \sum_{j \neq 0}^N \frac{K_{0j}}{\lambda_B - \lambda_j + \varepsilon} e^{-\lambda_j t} \quad (8)$$

где $\varepsilon = \sum_{j \neq 0}^N K_{0j}$ и $\lambda_f = \lambda_B + \varepsilon$ – эффективная скорость аннигиляции позитронов, которые находятся в свободном состоянии.

Время жизни позитронов, это промежуток между рождением и аннигиляцией позитронов. $t = 0$ соответствует позитронной эмиссии. Это значит, что форма спектра времени жизни соответствует:

$$S(t) = -\frac{dm(t)}{dt}, \quad (9)$$

Реальное время жизни является сверткой функций S с функцией разрешения спектра. Кроме этого, из случайных совпадения и вклада аннигиляции позитронов в источнике возникает фон. Из уравнений (8) и (9),

форма спектра времени жизни предсказана моделью STM, это сумма экспоненциальных компонент:

$$s(t) = \lambda_f I_0 e^{-\lambda_f t} + \sum_{j=1}^N \lambda_j I_j e^{-\lambda_j t}, \quad (10)$$

где относительная интенсивность компонентов в дефекте:

$$I_j = \frac{K_{0j}}{\lambda_B - \lambda_j + \varepsilon}, \quad j=1, 2 \dots N,$$

Первая компонента $I_0 = 1 - \sum_{j=1}^N I_j$ принадлежит свободному (делокализованному) состоянию позитронов.

С помощью согласованности системы STM, можно получить отношение:

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j I_j = \lambda_B,$$

где λ_j, I_j измеряются в материале с дефектами, λ_B определяется экспериментально или теоретически в материале без дефектов. По согласованности уравнения, можно доказать правильность предположения, которое приводит к уравнению (9).

Скорость захвата K_{0j} связана с концентрацией c_j в дефекте j -го вида:

$$K_{0j} = v_j C_j, \quad (11)$$

где v_j - коэффициент захвата (или удельная скорость захвата), эта величина определяет скорость захвата позитронов на единицу концентрации j -го вида дефекта. Коэффициент захвата зависит от структуры электронов и атомов, следовательно, для данного типа дефекта, v_j - характеристическая величина. В целом, удельная скорость захвата также зависит от температуры материала, так как она определяет распределение энергии термализованных позитронов. Таким образом, измерение времени жизни позитронов может отражать информацию об электронной структуре в дефекте. Кроме того, можно также определить типы дефектов представленных в образце и рассчитать их концентрации.

Диффузия позитронов к дефектам не ограничивает скорость захвата в режиме ограниченного перехода. Поэтому удельная скорость захвата - это

скорость перехода между делокализованным и локализованным состояниями.

Основными ловушками, захватывающими позитроны являются вакансионные кластеры (5-15%), дислокации и границы зерен (85-95%) [3].

1.1.2.3.2.1 Локализация позитрона в вакансиях

В кристаллах позитроны отталкиваются положительными ионами и, следовательно, большую часть времени проводят в дефектах. То есть, позитронная плотность в дефектах имеет максимальное значение. Около вакансии, позитроны испытывают меньшее кулоновское отталкивание и могут локализоваться со значительным выигрышем в энергии. Глубина потенциальной ямы около вакансии обычно равна нескольким эВ и достаточна для образования связанного позитронного состояния.

1.1.2.3.2.2 Локализация позитрона в дислокациях

Теоретические расчеты показали, что линия дислокации является мелкой ловушкой для позитронов. С другой стороны, время жизни позитронов в этой ловушке наблюдалось в пластически деформированных металлах и составляло значение, незначительно ниже, чем время жизни позитронов в ловушке вакансий. L. C. Smedskjaer предположил, что чистая линия дислокации является слабой ловушкой для позитрона, и объяснил, что большое время жизни наблюдалось в опытах с точечными дефектами (вакансиями, изломами дислокации), связанными с дислокацией. Например, энергия 0,92 эВ на вакансию к краю линии дислокации была рассчитана для Fe. После того, как позитрон прибывает на ядро дислокации, он рассеивается очень быстро (вдоль дислокации), пока не найдет вакансию, прикрепленную к дислокации или излом дислокации, где он будет пойман и аннигилирует. Это объяснение поддержали и дальнейшие расчеты.

Таблица 3 – Расчетные времена жизни τ и соответствующие E_B энергии связи позитронов в ловушке в ключевом регионе линии дислокации и дефектов, связанные с дислокацией [35,36].

Место аннигиляции	τ [пс]	E_B [эВ]
Fe		
линия краевой дислокации	117	
пробежка по линии краевой дислокации	117	
вакансия на линии краевой дислокации	140	
Cu		
линия дислокации	114	0,06
вакансия на линии дислокации	166	0,8
вакансии в регионе дефекта упаковки	177	1,2
Al		
линия дислокации	174	0,1
Вакансия на линии краевой дислокации	225	1,0
излом по линии краевой дислокации	224	1,3
дислокационная петли	191	0,4

Расчетные времена жизни позитронов в ловушке дислокаций и соответствующие энергии связи, перечислены в Таблице 3.

1.1.2.3.2.3 Локализация позитрона в вакансионных кластерах

Времена жизни позитронов, захваченных в небольших кластерах, были рассчитаны при помощи приближения локальной плотности. Поскольку решеточная релаксация вокруг кластера имеет относительно небольшое влияние на параметры аннигиляции позитронов, она не была включена в расчеты. Результаты показывают, что время жизни позитрона в ловушке дивакансии не сильно отличаются от, того что для моно-вакансии (больше примерно на 10 пс для Fe и 20 пс для Al). Время жизни увеличивается быстро, когда кластер растет до двумерной три вакансии и далее до

трехмерной тетра вакансии. Для больших кластеров время жизни составляет около 500 пс. Зависимость времени жизни позитронов в кластерах вакансий от свободного объема кластера выражается количеством вакансий, который образует кластер и показана на Рисунке 2 [19].

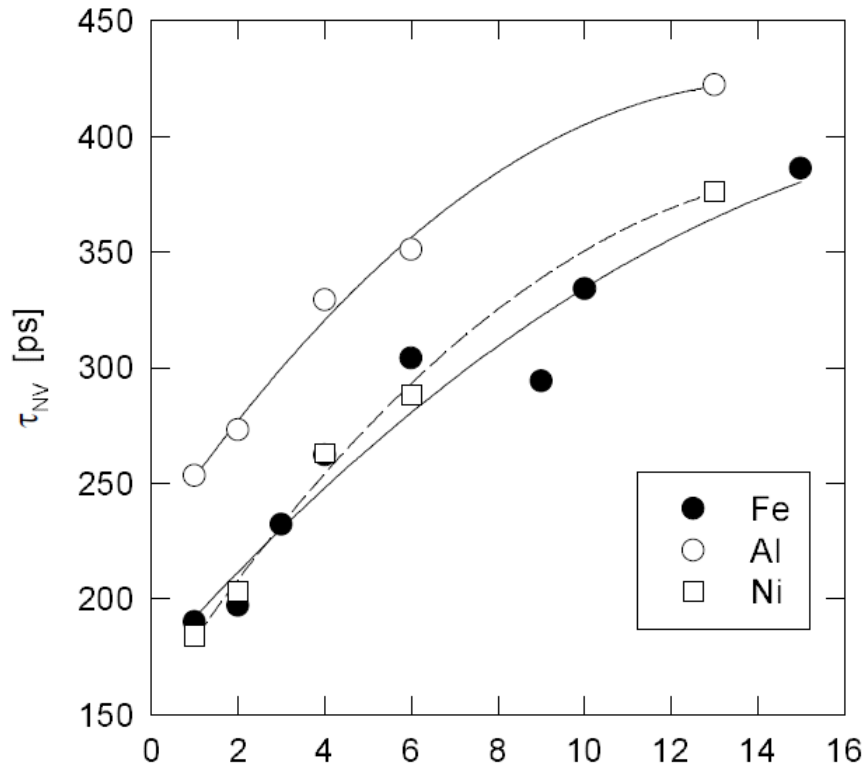


Рисунок 2. Время жизни позитронов зависит от количества вакансий [19]

Удельную скорость захвата v_{NV} для малых ($N < 10$) сферических скоплений N вакансий можно приблизительно оценить как:

$$v_{NV} \approx N_{v_{1V}}.$$

Скорость захвата для больших кластеров вакансий, размер которых сравним с λ , становится ограниченным также для позитронов в окрестности дефекта [37]. Для больших пустот, захват может быть ограничен в основном диффузией позитронов в дефекте. В результате этого, удельная скорость захвата позитрона зависит от температуры.

1.2 Метод спектрометрии Доплеровского уширения аннигиляционной линии

В настоящее время, методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА), являются самыми чувствительными методами для исследования дефектной и электронной структуры материалов, играют важную роль для исследования материалов, особенно для измерения размеров дефектов структуры твёрдого тела, используемых в атомной и электронной промышленности. Эти методы могут определить виды дефектов при анализе эмиссии гама квантов. Конкретными методами ЭПА являются:

1. Метод спектрометрии по времени жизни (СВЖ) позитронов;
2. Метод спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ);
3. Угловое распределение аннигиляционных фотонов (УРАФ).

В нашей работе для исследования влияния водорода на дефектную структуру сплава циркония, мы используем метод спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ). Данный метод, дает информацию об импульсном распределении электронов в материале и дефектах различного типа [38].

1.2.1 Теория спектра ДУАЛ

Закон сохранения импульса при процессе аннигиляции позитрона выражается в передаче импульса электрон-позитронной пары к аннигиляционным фотонам. Таким образом, излучение аннигиляции несет информацию об импульсном распределении электронов в веществе. Это полезно для изучения электронной структуры материала, а также для исследования дефектов. Распределение по импульсам можно исследовать двумя методами ЭПА: ДУАЛ и УРАФ. Процесс аннигиляции электрона и позитрона сопровождается испусканием двух γ -квантов. В системе центра масс аннигилирующей пары, суммарный импульс электрон-позитронной пары равен нулю. Из-за сохранения энергии и импульса до и после процесса

аннигиляции, два гамма-кванта испускаются в противоположных направлениях; каждый из них имеет энергию, равную 511 кэВ. В лабораторной системе, электрон-позитронная пара несет полный момент p , который передается на пары фотонов, как показано на схеме импульса на Рисунке 3.

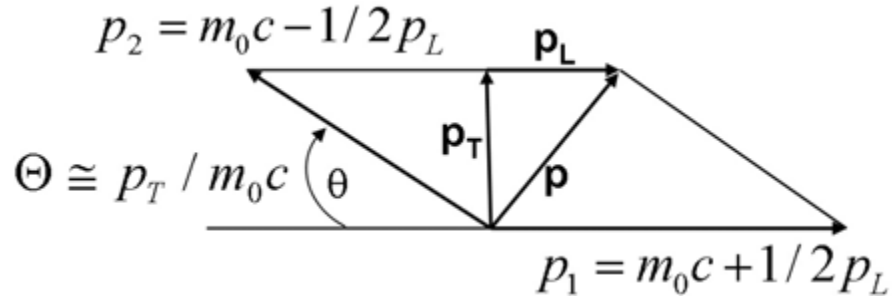


Рисунок 3. Схема импульса аннигилирующей пары

Доплеровский сдвиг (ΔE) аннигиляционной линии от энергии 511 кэВ, обусловлен наличием продольного импульса p_L . ΔE можно выразить как [22]:

$$\Delta E = \frac{1}{2} p_L c.$$

Поскольку позитрон аннигилирует только после того как термализовался, то его импульс очень мал по сравнению с электронами в кристаллической решетке. Что позволяет нам рассчитать, что p_L соответствует импульсу электрона, с которыми аннигилирует позитрон. Это обеспечивает возможность исследования распределения по импульсам электронов исследуемого образца. Поскольку вероятность наличия продольного импульса пары равна для обоих направлений, и ΔE , измеряемое детектором, имеет как положительные, так и отрицательные значения, это приводит к появлению доплеровского уширения линии аннигиляции. Таким образом, расширение энергетической линии вызвано суперпозицией отдельных доплеровских сдвигов в обоих направлениях оси. Доплеровский спектр дает накопления многочисленных событий аннигиляции.

Две другие компоненты импульса $P_{x,y}$, перпендикулярные к

направлению распространения, вызывают угловое отклонение от коллинеарности аннигиляции γ -квантов в соответствии с [39]:

$$\theta_{x,y} = \frac{P_{x,y}}{m_0 c}$$

Эта формула справедлива для малых углов. $\theta_{x,y}$ может быть зарегистрирован одновременно в обоих направлениях X и Y путем измерения совпадений [18]. Импульс термализованного позитрона является менее значительным, чем у большинства электронов. Только один позитрон находится в образце в данный момент времени. Таким образом, позитроны являются зондами распределения импульсов в электронном пространстве. В случае локализации позитронов в открытых объемных дефектах, доля основных электронов, участвующих в процессе аннигиляции, уменьшается относительно числа валентных электронов. Импульсное распределение аннигилирующих электронов смещается в сторону меньших значений. Это основано на том факте, что импульс валентных электронов отчетливо ниже. Это означает, что меньшее доплеровское уширение спектров и меньшее отклонение УРАФ будут получены в этом случае.

1.2.1.1 Обработка спектров Доплеровского уширения аннигиляционной линии

Позитроны, захваченные в открытых объемных дефектах имеют четкое влияние на доплеровское уширение спектра $N_D = F(E)$. Есть два параметра для описания доплеровского уширения аннигиляционной линии. Параметр S, так называемый валентный параметр аннигиляции, рассчитывается как количество событий центральной области низких импульсов спектра, N_S , деленная на общую площадь всей кривой N_o после вычитания фона [22]:

$$S = \frac{N_S}{N_o}, N_S = \int_{E_o - E_S}^{E_o + E_S} N_D dE$$

Кроме того, параметр W, или параметр аннигиляции ядра,

рассматривается в области высокого импульса спектра, как показано на Рисунке 4. Он определяется как число событий в фиксированном интервале энергий N_W , разделенной на N_o :

$$W = \frac{N_W}{N_o}, N_W = \int_{E_1}^{E_2} N_D dE$$

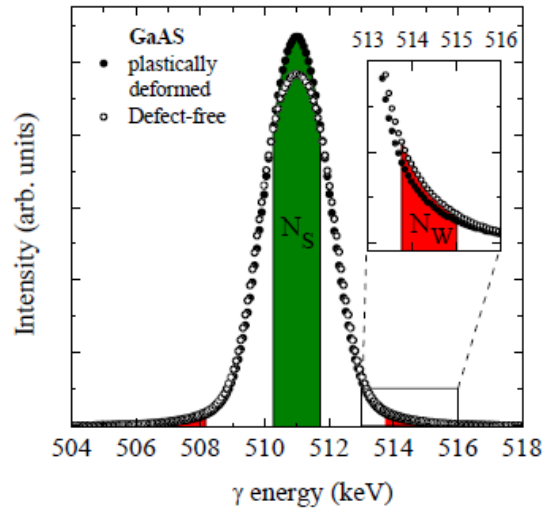


Рисунок 4. Спектры Допплеровского уширения для двух образцов: для бездефектного GaAs и пластически деформированного GaAs [39]. S и W параметры были оценены по показанным областям, деленные на площадь под всей кривой. Оба спектра нормированы на одну площадь.

S и W параметры также называются параметром формы и параметром крыла, соответственно. Параметр S рассчитывается исходя из того, что пределы интервала выбраны вокруг центра энергии аннигиляционной линии $E_0 = 511$ кэВ, $E_0 \pm E_S$. Пределы для оценки W параметра, E_1 и E_2 , должны быть выбраны далеко за пределами центра, так что не будет никакого влияния валентных электронов больше.

Выбранные пределы должны оставаться постоянными для всех спектров в рамках одного эксперимента. На Рисунке 16 [22] показаны точки пересечения двух кривых (бездефектного и пластически деформированного образца) и взяты как пределы интервала для определения параметра S. Таким образом, максимальная чувствительность к изменению дефектов, выраженная в изменении формы линии может быть получена. Часто, пределы

интервала выбираются так, чтобы S параметр принял значение 0,5 в бездефектном, эталонном, образце. После этого, параметр W должен быть оценен, начиная с предела значительно отдаленного от пределов параметра S. Пределы были настроены $(511 \pm 0,8)$ кэВ для оценки S и $E_1 = 513,76$ и $E_2 = 515$ кэВ для параметра W [26]. Как правило, S и W параметры нормированы на их соответствующие значения для бездефектного материала, S_b и W_b . Это приводит к надежному сравнению полученных значений. Это справедливо только для спектров, измеренных на том же спектрометре, т.к. нормированные параметры формы линии зависят от энергетического разрешения системы. S и W параметры реагируют на тип и концентрацию дефектов. Но параметр W является более чувствительным к химическому окружению места аннигиляции позитрона. Это связано с тем, что остовные электроны имеют высокие импульсы и соответствуют в основном параметру W. Химическое окружение места аннигиляции можно получить, используя высоко-импульсную часть распределения по импульсам [40, 41, 42]. Это позволяет идентифицировать вакансии и вакансионные дефекты, связанные с атомами примеси [43]. Также был введен третий параметр, R. Этот параметр зависит только от типов дефектов, участвующих в процессе аннигиляции и не зависит от концентрации дефектов [43]. Он определяется как:

$$R = \left| \frac{S - S_b}{W - W_b} \right| = \left| \frac{S_d - S_b}{W_d - W_b} \right| \quad (5)$$

График зависимости S-параметра от W-параметра используется вместо численного расчета R по формуле 5. Наклон прямой, проходящей через (W_b, S_b) и (W_d, S_d) дает значение R для одного типа дефектов. Затем, в некоторых случаях, анализ линейности кривой SW можно использовать для выявления того, сколько типов дефектов обнаружат позитроны. Более того, доля позитронов, аннигилирующих в дефектах можно оценить [44, 45]. В случае существования только одного типа дефектов, очевидно параметр S может быть получен с использования значений S_b и S_d , как показано ниже [44]:

$$S = (1-\eta) S_b + \eta S_d,$$

где η – весовой коэффициент, то есть доля позитронов, аннигилирующих в дефекте. Данная величина выражается как [26]:

$$\eta = \int_0^{\infty} n_d(t) dt = \frac{K_d}{\lambda_b - K_d}.$$

η может быть определен из одного измерения доплеровского уширения при условии, что S_b и S_d известны из эталонных экспериментов [22]. Коэффициент захвата позитронов дефектами может быть определен как:

$$\kappa_d = \frac{1}{\tau_b} \frac{S - S_b}{S_d - S}.$$

После этого концентрация дефектов может быть оценена.

1.2.1.2 Оборудование для исследования Доплеровского уширения аннигиляционной линии

Для реализации метода ДУАЛ необходимо использовать систему с высоким энергетическим разрешением. Цифровые системы были применены для реализации спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии [46-48]. В настоящее время чаще всего применяются детекторы из особо чистого германия (ОЧГ) [49] с системой охлаждения из жидкого азота. Детекторы находятся под высоким напряжением, создающим обедненную область, являющуюся рабочей областью детектора. При прохождении частиц в обедненной области детектора, образуются электронно-дырочные пары, движущиеся в разных направлениях и создающие электрический импульс во внешней цепи детектора. Амплитуда этого импульса пропорциональна энергии зарегистрированного фотона. После усиления и оцифровки в многоканальном анализаторе импульсов, этот сигнал сохраняется в виде файла и может быть использован для набора энергетического спектра. Для того, чтобы избежать эффекта наложения импульсов (“pile-up”), детектор γ -

квантов необходимо располагать на значительном расстоянии от источника позитронов. Это позволяет проводить одновременно набор и спектров ДУАЛ и СВЖ позитронов [3].

Схема используемого в работе спектрометра Доплеровского уширения аннигиляционной линии представлена на Рисунке 5.

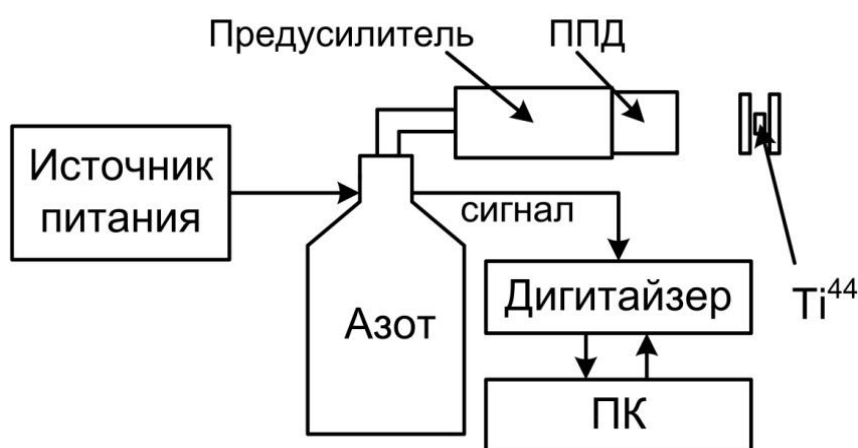


Рисунок 5. Схема цепи для метода ДУАЛ [3]

Дискретизатор может регистрировать импульсы гама-квантов и преобразовать их в электрический сигнал. Сигнал с детектора направляется непосредственно на высокоскоростную многоканальную систему преобразования данных. Высокоскоростная многоканальная система преобразования данных состоит из следующих компонентов:

1. 12-битный 2-х каналный дискретизатор с шиной cPCI модели U1066A-001 фирмы Agilent Technologies [50]. Частота дискретизации достигает 420 Мвыб/с, полоса пропускания до 100 МГц.
2. 3-слотовый крейт для модулей cPCI (3U и 6U), 400 Вт модели U1091AC30 фирмы Agilent Technologies;
3. Персональный компьютер;
4. Специально программное обеспечение для контроля и управления спектрометром.

Собираемые спектры сохраняются в виде текстового файла на компьютере. Далее, эти спектры могут быть импортированы в профессиональное программное обеспечение SP. Программное обеспечение SP выдает значения S-параметра и W-параметра для каждого спектра в эксперимента. Чем больше S-параметр и меньше W-параметр, тем меньше степень дефектности материала. Вышеописанным процессом можно прецизионно исследовать и анализировать дефектную структуру материала, определять концентрацию, размер и тип объемных дефектов материала.

1.2.2 Установка для послойного анализа

Наши детекторы могут зарегистрировать сигналы от любых направлений. То есть сигналы от позитронов, аннигилирующих на разных слоях, детекторы все равно получают. Поэтому мы не сможем получить информации для удельных слоёв из спектров.

Для того, чтобы делать послойный анализ методами электрон-позитронной аннигиляции, необходимо разрабатывать систему, с помощью которой можно будет управлять местоположением слоя, с которого регистрируются излучаемые сигналы. Это было частично решено с появлением ускорительных комплексов с источниками моноэнергетических позитронов, которые позволяют проводить исследования материалов методами ЭПА на разных глубинах. Не смотря на высокую эффективность и хорошее разрешение по глубине, данные комплексы обладают одним важным ограничением: максимальная толщина исследуемого слоя не превышает 3-4 мкм для большинства материалов. Таким образом, данные комплексы предназначены для исследования лишь приповерхностных слоев материала.

Предлагаемый в данной работе подход позволит проводить послойный анализ дефектной структуры в металлических материалах толщиной до нескольких сотен мкм и в полимерах и пористых материалах – до 5-10 мм.

Известно, что тяжелый металл может блокировать сигналов, которые

нам не нужны. Таким образом, мы применили щель, состоящую из двух брусков тяжелого металла, в качестве системы коллимации для послойного анализа методами ЭПА. В статье [51] предлагается идея, согласно которой сигналы отфильтровываются с помощью щели коллиматора (ширина щели 100 мкм). Принимая во внимание эту идею, мы реализовали установку для послойного анализа. Чертеж щели представлена на рисунке 6.

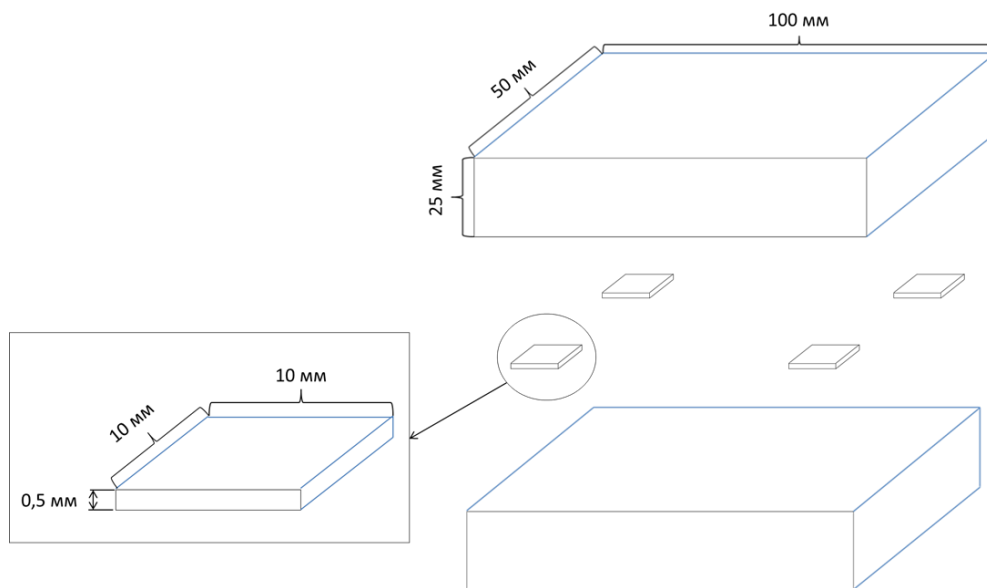


Рисунок 6. Чертеж щели установки.

Схема установки для послойного анализа представлена на рисунке 7.

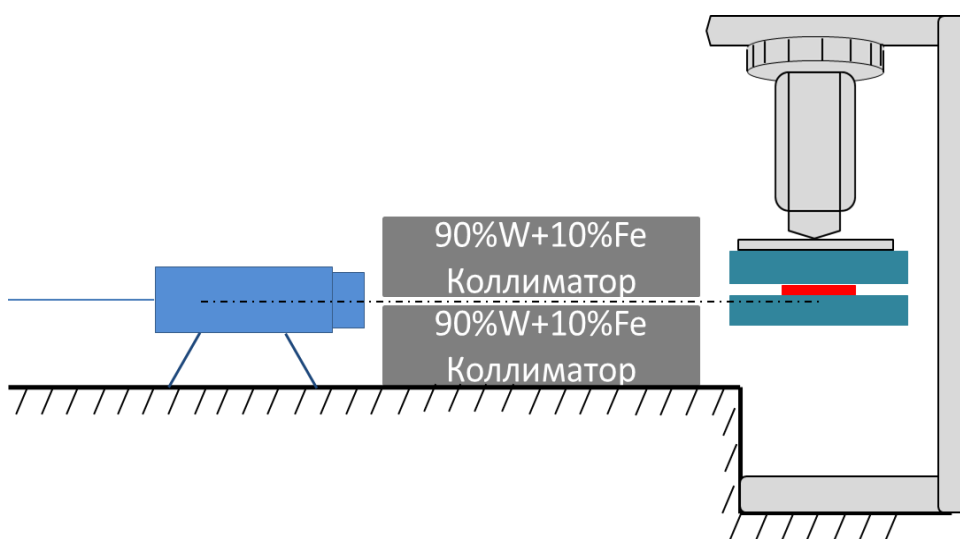


Рисунок 7. Схема установки для послойного анализа.

Два свинцовых блока размещаются параллельно, и 4 титановых фольги с толщиной 50 мкм помещаются между двумя свинцовыми блоками, чтобы создать щель, через которую детектор экранирует сигналы. Из рисунка хорошо видно, что позитроны попадают в образец, потом аннигилируют в образцах, и производят гамма-кванты. Свинцовые блоки останавливают гамма-кванты, излучаемые от других направлений, и только гамма-кванты, которые заходят через щель, могут зарегистрироваться в детекторе. С помощью микрометра можно определить глубину, с которой гамма-кванты излучаются, что соответствует расположению аннигиляции позитронов. Таким образом, мы можем получить информацию об аннигиляционных характеристиках на разных глубинах, которые нам нужны. Используя эти данные можно делать послойный анализ дефектной структуры.

Идеальное разрешение установки равно ширине щели – 50 мкм. Однако из-за того, что у образцов и источника есть толщина и расстояние между образцом и щелью не равно нулю, то нужно измерить реальное разрешение установки для экспериментов.

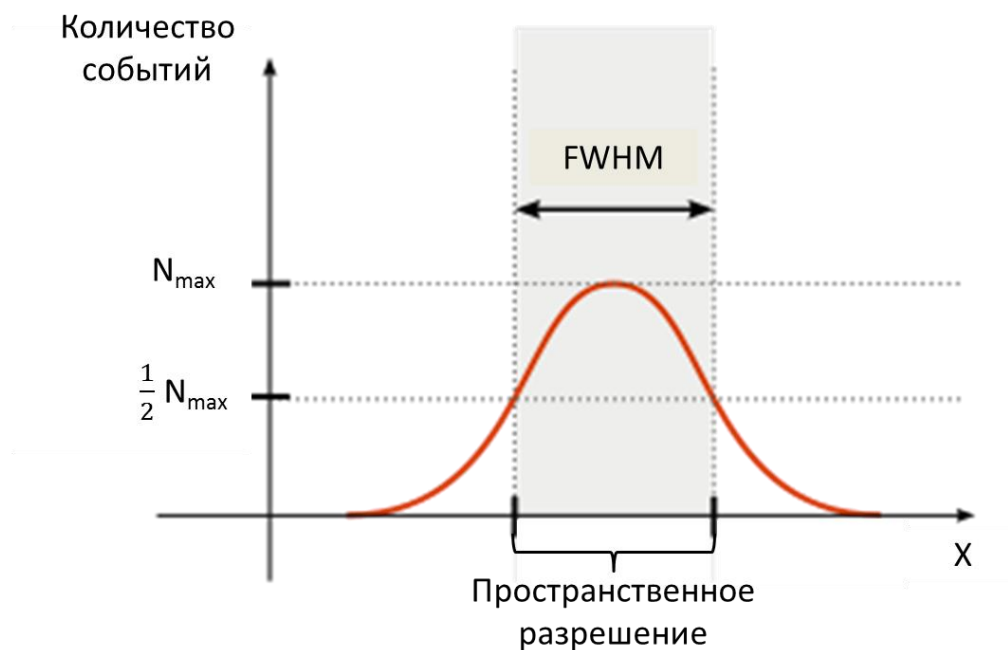


Рисунок 8. Полная ширина на половине высоты [37].

Как показано на рисунке 8, результат должен быть в соответствии с распределением Гаусса. Для того, чтобы получить разрешение установки, необходимо рассчитать полную ширину на половине высоты пространственного распределения в пике. Эта величина характеризует пространственное разрешение установки.

Используя эту установку, можно делать послойный анализ всеми методами электрон-позитронной аннигиляций, например, методом спектрометрии времени жизни позитронов и методом спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии. Однако, установка заблокирует неполезные сигналы, что приведет к сильному увеличению времени набора спектров. По сравнению с нормальными обстоятельствами, время измерения будет увеличиваться, по крайней мере, на порядок. В нашей лаборатории спектрометр ДАЛУ набирает один спектр за 1 день, а СВЖ позитронов набирает один спектр за несколько недель. Поэтому применение метода СВЖ не рентабельно.

Глава 2. Экспериментальная реализация послойного анализа методами ЭПА

После того, как была реализована установка для послойного анализа, была произведена серия экспериментов. Назначение первого эксперимента - проверка жизнеспособности установки, определение разрешения, времени набора для каждого спектра. Далее, с помощью данной установки будет произведено исследование дефектной структуры различных материалов.

2.1 Эксперимент I. Оценка пространственного разрешения системы

В эксперименте используется радиоактивный изотоп ^{44}Ti как источник позитронов. ^{44}Ti испускает γ - кванты с энергией 1,157 МэВ, когда позитроны рождаются; и γ - кванты с энергией 511 КэВ, когда позитроны аннигилируют.

Как видно на рисунке 9, в качестве материала щели был выбран свинец, как тяжелый материал, обладающий низкой стоимостью. Толщина щели в первом эксперимента составляла 100 мкм. Источник может перемещаться в

вертикальном направлении с помощью микровинта. Если гамма-кванты могут пройти через щель, они регистрируются детектором.

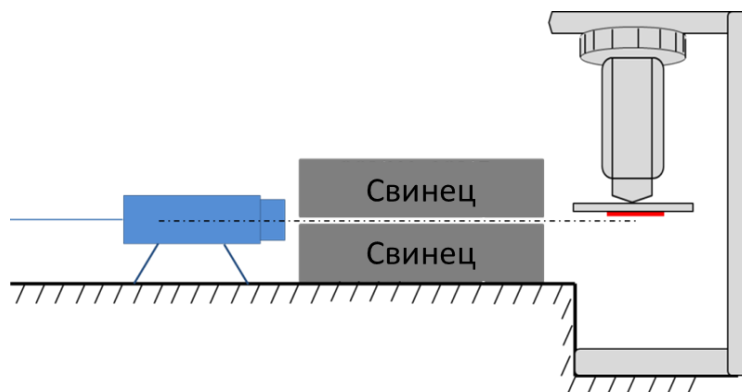


Рисунок 9. Принципиальная схема процесса определения разрешения установки.

В процессе эксперимента, используемый источник двигался сверху вниз на каждый 100 мкм. На каждом шаге, запускались спектры на 400 000 событий (около 50 мин). Из полученных сигналов гамма-квантов, получилась зависимость количества событий от пространственного распределения. Данный результат представлен на рисунке 10.

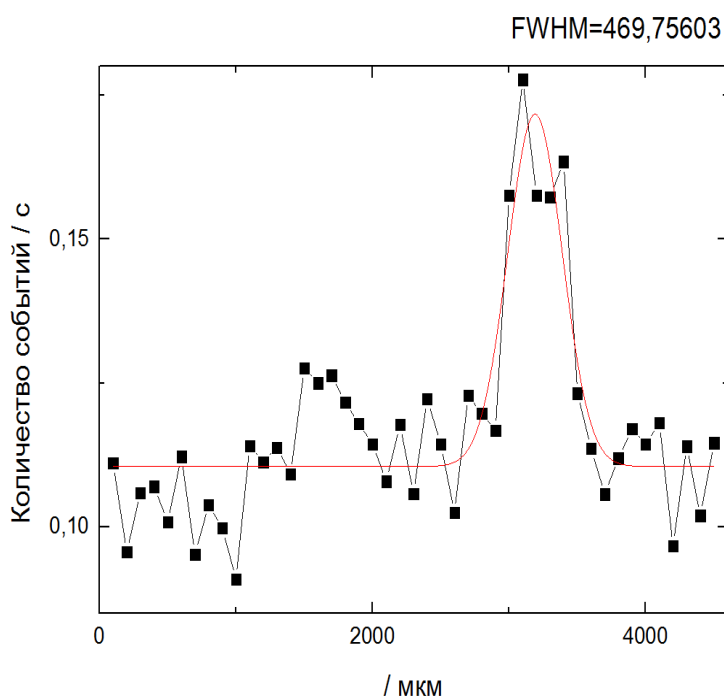


Рисунок 10. Пространственное разрешение установки.

Зависимость количество событий от пространственного распределения представлена на графике. Из графика виден пик с полушириной 470 мкм. Это является хорошим доказательством для жизнеспособности послойного анализа; показывает, что щель может хорошо выбирать гамма-кванты.

Для каждого шага была определена скорость счета линии 1157 кэВ, характеризующая положение источника позитронов относительно щели. Также в данной работе оценивалась скорость счета линии 511 кэВ, характеризующая пространственное распределение позитронов. Количество событий представлено в таблице 4.

Таблица 4. Количество событий.

События	2599	2533	2434	2513	2452	2540	2491	2461	2538	2373	2435	2524	2655	2606	2519	2523	2526	2403	2524	2454	2434	2352
Время/с	2486	2423	2547	2345	2363	2373	2316	2397	2392	2409	2367	2394	2385	2412	2403	2418	2412	2422	2441	2474	2511	2478
События/Время	1.045	1.05	0.96	1.07	1.04	1.07	1.08	1.03	1.061	0.99	1.03	1.05	1.11	1.08	1.05	1.04	1.05	0.99	1.03	0.99	0.97	0.95
События	2437	2501	2446	2449	2414	2468	2457	2373	2478	2398	2363	2559	2533	2574	2557	2631	2620	2614	2477	2523	2539	2463
Время/с	2475	2530	2501	2522	2509	2495	2499	2493	2485	2497	2455	2498	2486	2472	2422	2408	2406	2409	2416	2413	2428	2480
События/Время	0.985	0.99	0.98	0.97	0.96	0.99	0.98	0.95	0.997	0.96	0.96	1.02	1.02	1.04	1.06	1.09	1.09	1.09	1.03	1.05	1.05	0.99

При обработке данных произошла ошибка, обработчик обрабатывал лишь каждый 50-й сигнал. Поэтому все значения в таблице необходимо умножить на 50. Для анализа одного образца по всей глубине потребуется около 1-2 недель. Это является подтверждением жизнеспособности установки для фильтра сигналов.

2.2 Эксперимент II. Тестирование установки на бездефектных материалах

В предыдущем эксперименте было показано, что щель хорошо фильтрует сигналы. В данном эксперименте, мы оптимизировали установку: добавили к ней платформу. Новая платформа может быть использована для размещения образцов, что позволяет образцам не вращаться с валом микровинта. Чертеж платформы представлен на рисунке 11.

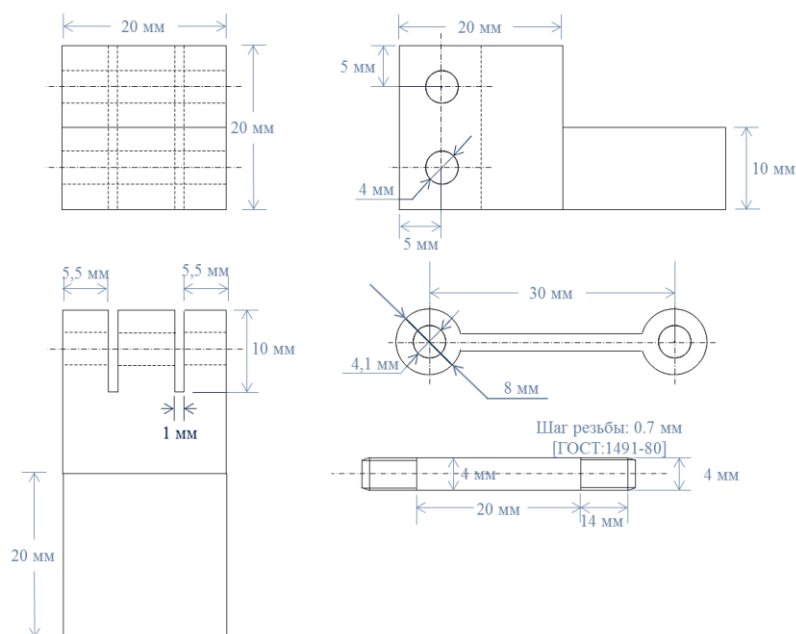


Рисунок 11. Чертеж платформы установки.

Схема оптимизированной установки представляется на рисунке 12.

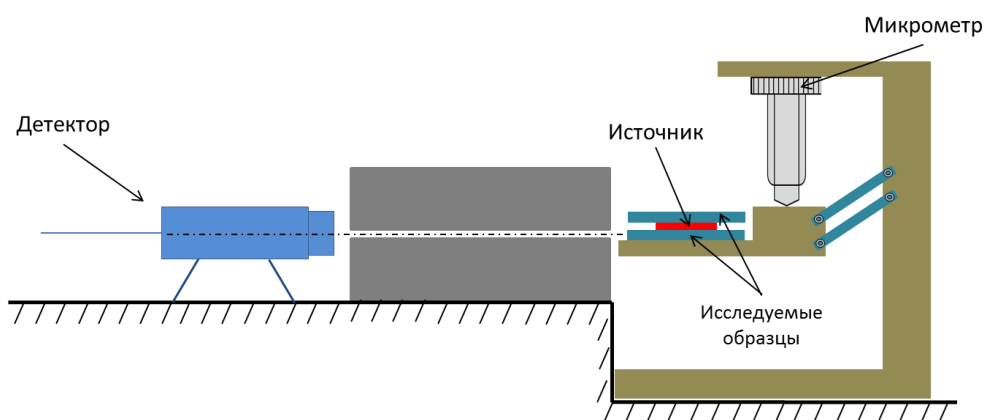


Рисунок 12. Схема установки для послойного измерения дефекта в материалах.

Из рисунка 12 хорошо видно, что позитроны попадают в образец, потом аннигилируют в образцах, и производят гамма-кванты. Свинцовые блоки останавливают гамма-кванты, излучаемые от других направлений, и только гамма-кванты, которые заходят через щель, могут зарегистрироваться в детекторе. С помощью микроинта можно определить глубину, от которой гамма-кванты излучаются, так же, как и расположение аннигиляции позитронов. Поэтому мы можем получить информацию об аннигиляционных

характеристиках на разных глубинах, которые нам нужны. Из данных характеристик можно делать послойный анализ дефектной структуры.

В процессе данного эксперимента «сэндвич» двигался сверху вниз на каждые 100 мкм; и на каждый 50 мкм, когда источник проходил вблизи щели. Протяженность исследуемого слоя составила от 0 до 2100 мкм, в общей сложности 37 точек измерения. На каждом измерении был запущен спектр на 3 600 000 событий (около 2 часа). Ширина щели составляла 50 мкм.

Для данного эксперимента, мы применили металлы свинца и алюминий в качестве образцов. Образцы были бездефектные, чтобы получить одинаковые аннигиляционные параметры на разных слоях одного образца. Внешний вид образцов представлен на рисунке 13.

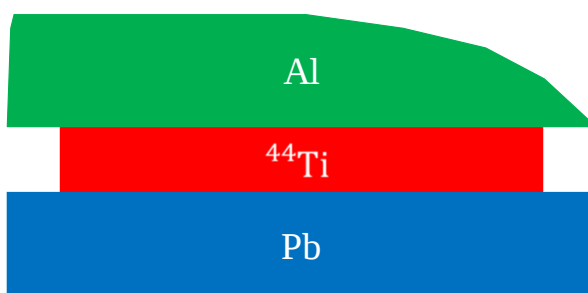


Рисунок 13. Внешний вид образцов (Детектор при этой ситуации находится справа).

2.2.1 Статистика расчета сигналов

Из полученных сигналов, получилась зависимость количества событий от пространственного расположения сэндвича. Зависимости количества событий всех спектров, пика линий 511 кэВ и пика линий 1157 кэВ представлены соответственно на рисунках 14, 15 и 16.

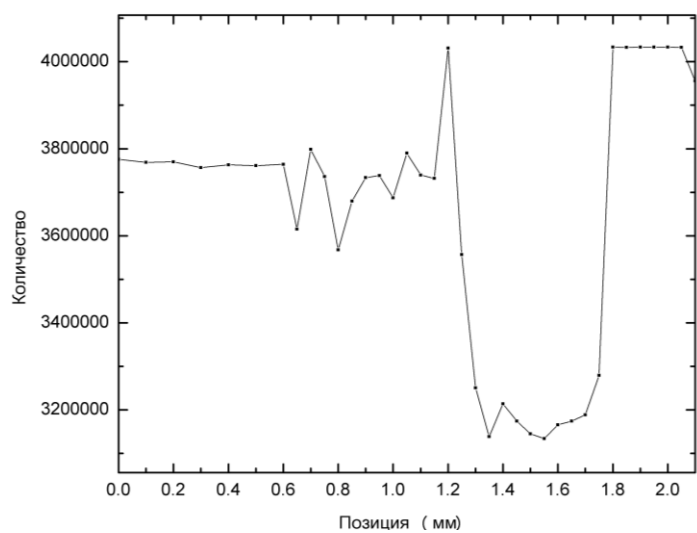


Рисунок 14. Зависимость количества событий всех событий в спектре от пространственного расположения (позиций).

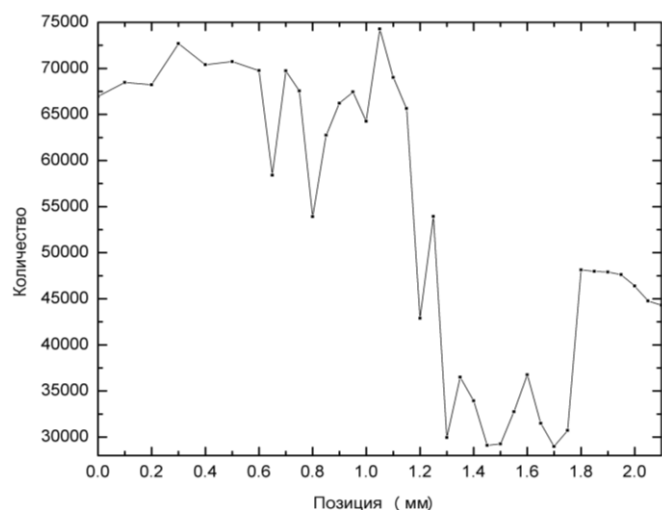


Рисунок 15. Зависимость количества событий пика линий 511 кэВ от пространственного расположения (позиций).

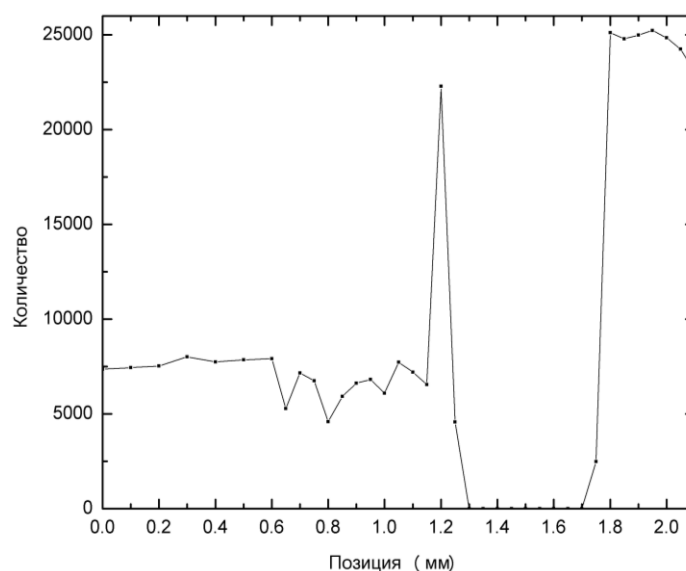


Рисунок 16. Зависимость количества событий пика линий 1157 кэВ от пространственного расположения (позиций).

Когда источник проходит близко к щели, слишком большая радиоактивность приводит к тому, что большинство сигналов, полученных в детекторе, не будет обработано. Таким образом, в этой ситуации, количество событий резко уменьшались относительно других. Из приведенных выше трех рисунков можно найти часть «каньон», которая была получена, когда источник прошел через щель.

Зависимость времени регистраций сигналов от пространственного расположения представлена на рисунке 17.

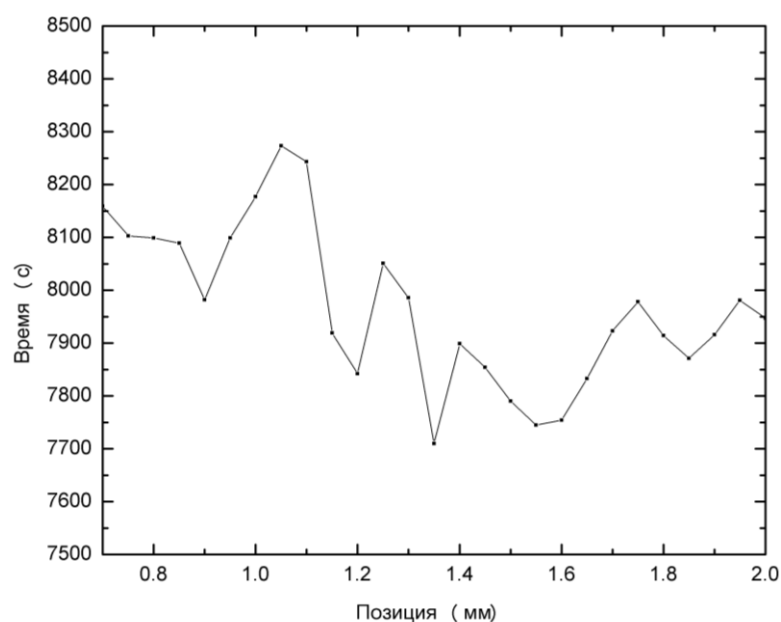


Рисунок 17. Зависимость времени регистраций сигналов от пространственного расположения (позиций).

На рисунке 16 можно найти низкую часть (около с 1300 до 1800 мкм), при которой сигналы собирались быстрее всего. Это связано с мощной интенсивностью излучения.

Из полученных сигналов гамма-квантов, получилась зависимость скорости счета событий от пространственного расположения. Данный результат представлен на рисунках 18, 19 и 20.

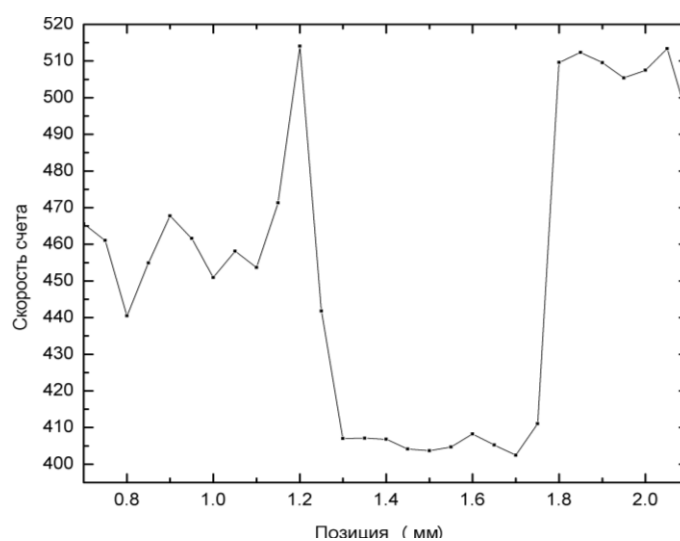


Рисунок 18. Зависимость скорости счета событий от пространственного расположения.

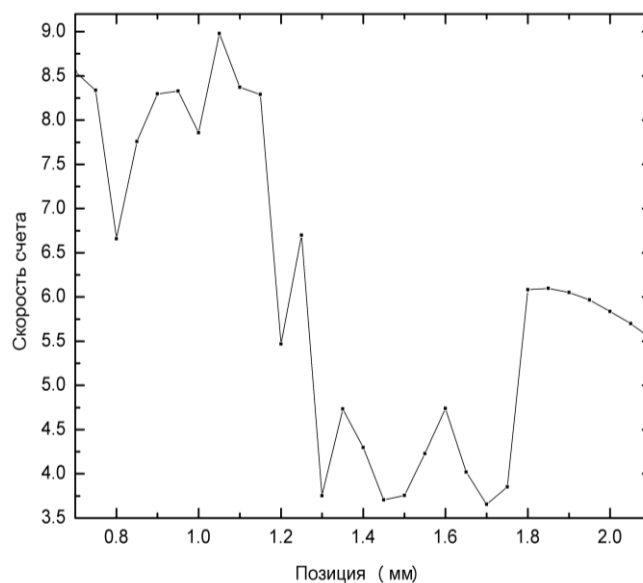


Рисунок 19. Зависимость скорости счета событий (линия 511 кэВ) от пространственного расположения.

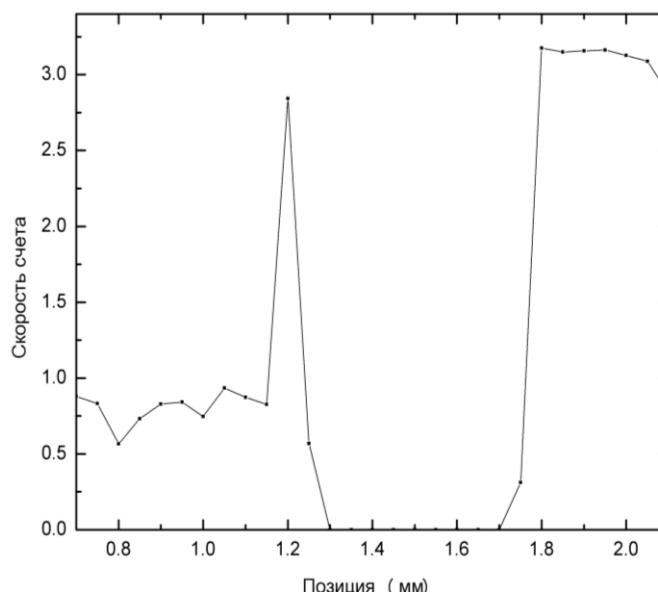


Рисунок 20. Зависимость скорости событий (линия 1157 кэВ) от пространственного расположения.

Из рисунков мы можем найти место щели, на протяженность которого скорость счета линий 511 кэВ уменьшается (на рисунке 19), а скорость счета линий 1157 кэВ была равна нулю (на рисунке 20). Это происходит из-за того, что в случае, когда источник (^{44}Ti) проходил через зоны измерения (близко к щели), большая радиоактивность приводит к уменьшению количества полезных сигналов, которые получил детектор.

2.2.2 Определяем значения S-параметров для наших спектров

Далее были проанализированы самые важные коэффициенты – S-параметры, получаемые из пиков 511 кэВ.

Из всех графиков выбирали тот, который оказался самым средним. Для него S-параметр устанавливался равным 0,5. Настройки для данного значения сохранялись для остальных спектров. Далее были загружены все остальные спектры с тем же пределом, и получены S-параметры в зависимости от координаты.

Из рисунка 21 видно, что несколько значений S-параметров были более единицы. В действительности S-параметры не может быть более единицы, это уязвимость в программном обеспечении SP. Пользовательский интерфейс для определения пределов представлен ниже:

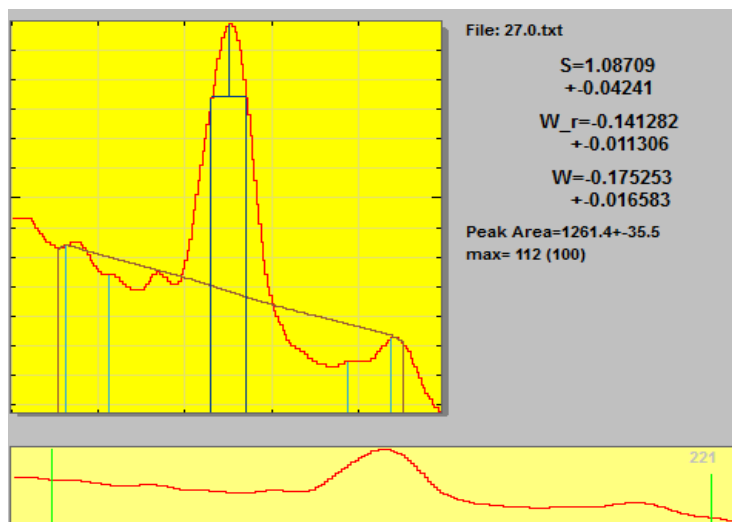


Рисунок 21. В некоторых случаях, S-параметры были более единицы.

Программа SP рассчитывает S-параметры как соотношение синей прямоугольной области к общей площади. Площади при случае, когда графики ниже, чем фиолетовая линия, будут рассматриваться как минус. Поэтому если указанные зоны были не маленькие, S-параметр будет больше единицы.

Для того чтобы решить эту проблему, мы изменили предельные параметры: уменьшили ширину области «background» и соответственно остальные параметры, чтобы убрать из спектра части, которые дают «минус». Правильная настройка представлена на рисунке 22.

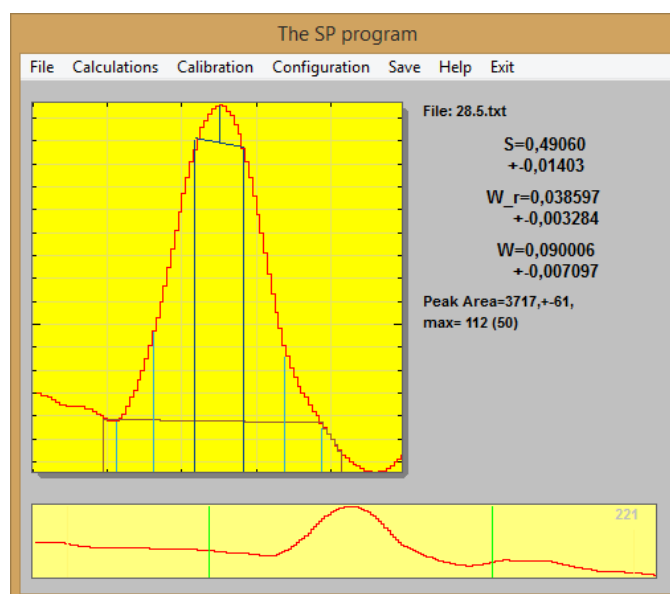


Рисунок 22. Параметры для обработки S-параметров.

Удаляя некоторые точки, которые не имеют логики (это происходит из-за того, что существовали ошибки калибровки при наборах спектров. Они все появлялись на ранних стадиях эксперимента и не влияют на основную часть результатов), указали зависимость S-параметра от пространственного расположения на координате (рисунок 23).

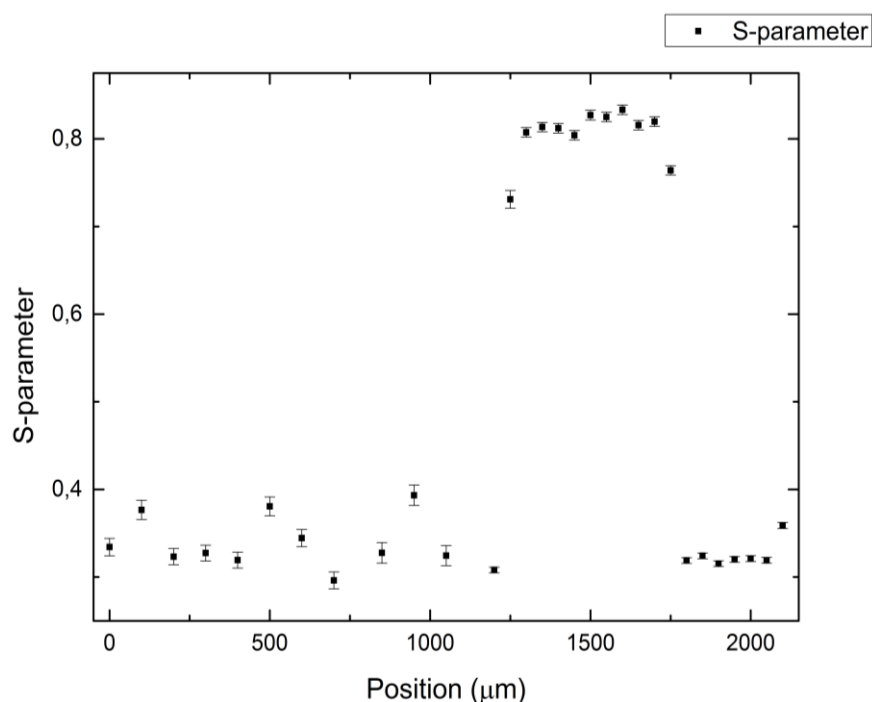


Рисунок 23. Зависимость S-параметров от пространственного расположения.

Из графиков зависимости можно найти пик, на котором S-параметры были гораздо больше, чем другие. Толщина у пика, который находится между координатой 1300 мкм и 1800 мкм, была близка к 500 мкм. Это совпадает с толщиной блока источника. Когда источник бы выровнен с щелью, гамма-кванты, которые только рождались в источнике, могут быть зарегистрированы детектором. Таким образом, это приводит к тому, что S-параметры в этой части были различными относительно образцов, ввиду разных материалов и разной дефектной структуры (материал источника более дефектный, чем материал образцов). А кроме этих точек, остальные точки все были постоянные, и находятся близко к значению 0,3 (относительное значение). Это доказывает то, что спектры, получены из различных слоев бездефектного образца, имеют такое же значение (близко к 0,3). Поэтому можно делать вывод о том, что с нашей установкой можно хорошо фильтровать сигналы.

Полученные S-параметры были постоянные (кроме того, когда источник был приведен в соответствие со щелью, они имеют другие постоянные значения).

Далее, был проведен эксперимент для образцов, имеющих контролируемое распределение дефектов по глубине.

2.3 Эксперимент III. Анализ образцов с контролируемым распределением дефектов по глубине

В данном эксперименте, мы будем подтверждать способность установки исследовать образцы, имеющие контролируемое распределение дефектов по глубине.

В данной работе, мы используем такую же установку, как в предыдущем эксперименте. Новый детектор имеет другую, вертикальную ориентацию. Схема эксперимента представляется на рисунке 24.

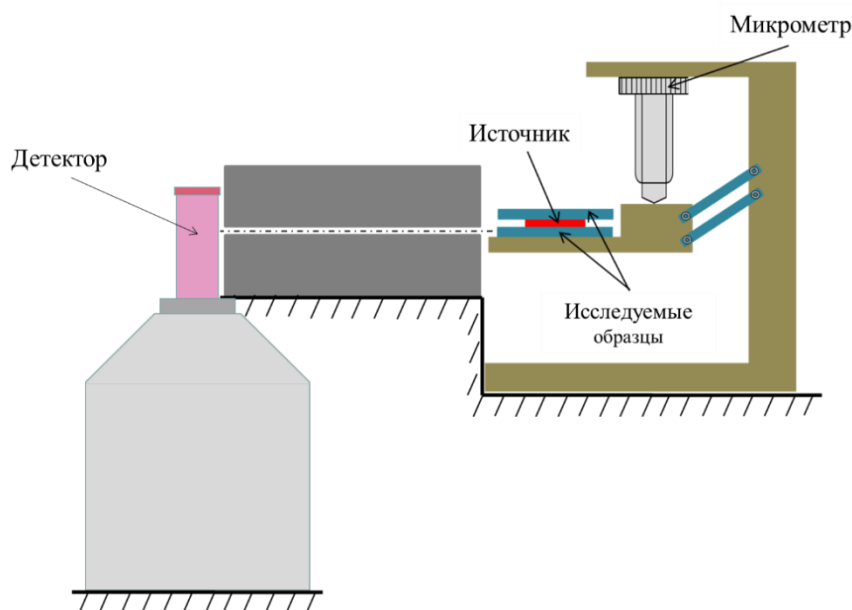


Рисунок 24. Схема установки для послойного измерения дефекта в материалах.

Для данного эксперимента, мы применили медь и полиэтилен в качестве композиции (полиэтилен имеет гораздо большую концентрацию дефектов по сравнению с медью). Схема образца представлена на рисунке 25.



Рисунок 25. Схема образца.

Образец имеет многие слои, которые соответственно создаются из меди и полиэтилена. Из-за того, что идеальное разрешение было равно 50 мкм, мы позволяли толщине каждого слоя быть более 80 мкм. Мы полагаем, что эта толщина не будет меньше чем предельное разрешение установки. У меди и полиэтилена имеются разное соотношение дефектов, то есть S-параметры для разных слоев будет иметь разные значения.

Внешний вид образцов представлен на рисунке 26. Для проведения эксперимента, мы положили образец на платформу нашей установки. На верхней поверхности образца, положили источник ^{44}Ti . Наверху находится

другой металл, его цель заключается только в том, чтобы позитроны не аннигилировали в воздухе над «сэндвичем».

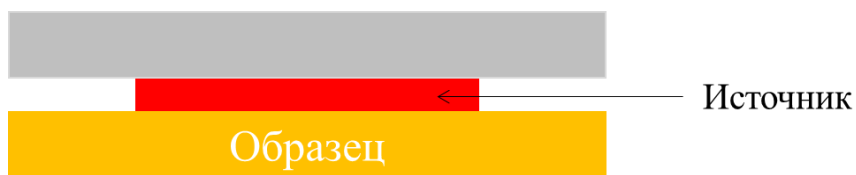


Рисунок 26. Внешний вид образцов «сэндвич» (Детектор при этой ситуации находится слева).

В процессе данного эксперимента «сэндвич» двигался сверху вниз на каждый 50 мкм. Протяженность координаты с 0 мкм до 500 мкм (начало - на границе между образцом и источником, ближе к источнику), в общей сложности 10 точек измерения. На каждом измерении были запущены спектры на 350 000 событий в области пика 511 кэВ (около за 1 дня на спектр).

Для того чтобы запускать спектр, необходимо правильно установить параметры программы для измерения. Интерфейс настройки «Установки измерения» представлен ниже:

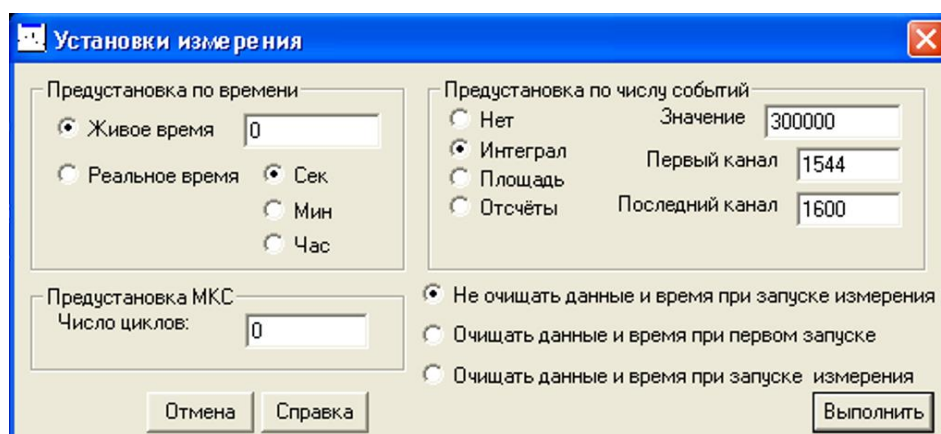


Рисунок 27. Интерфейс настройки измерения.

На этом интерфейсе нужно настроить «интеграл». Для выполнения необходимо вводить в поле «Значение», «Первый канал» и «Последний канал». В данном эксперименте, первый и последний канал,

соответствующие энергиям 500 и 522 кэВ были равны 1544 и 1600, соответственно. Числом в поле «Значение» является сумма набора сигналов в сумме. Чем больше это число, тем большая статистика будет набираться. Но большое значение набора также будет потреблять много времени. Имея это в виду, мы ввели 350 000 для данного эксперимента. При этой ситуации набор одного спектра будет продолжаться 1 день.

2.3.1 Обработка и результаты

Для того, чтобы проверить способность установки для исследования образцов, имеющего контролируемое распределение дефектов по глубине, необходимо обработать полученные спектры. После чего можно сравнить и проанализировать самые важные коэффициент – S-параметры.

Обработка спектров, как и в предыдущем эксперименте, будет проводиться с помощью SP-11. Из-за того, что у инструмента, используемого в данном эксперименте, было мало каналов (около 8 000 каналов) - части спектров, которые приходятся на пик 511 кэВ (аннигиляционный пик и площадь рядом с ним), имели только 54 канала. Один канал соответствовал примерно 0,36 кэВ. Это создало трудность для обработки спектров. Сравнение данных спектров с обычным представлено на рисунке 28.

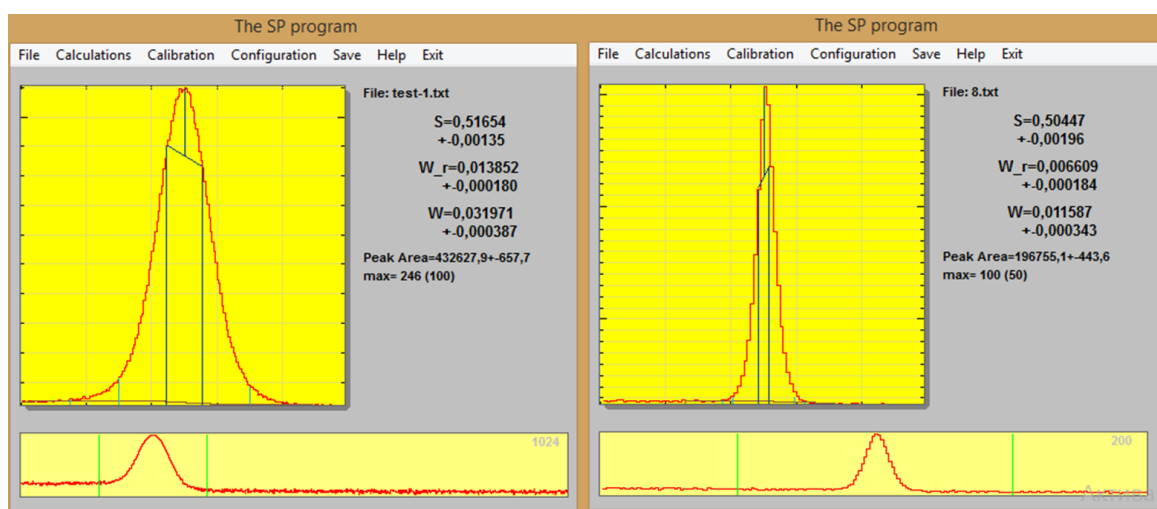


Рисунок 28. Форма обычного спектра (слева) и спектра текущего эксперимента (справа) в окне программы SP-11.

Из рисунка 28 видно, что справа имеется не гладкий пик. Для того, чтобы сделать S-параметр близким к значению 0,5, необходимо установить значение «dS» очень низкое.

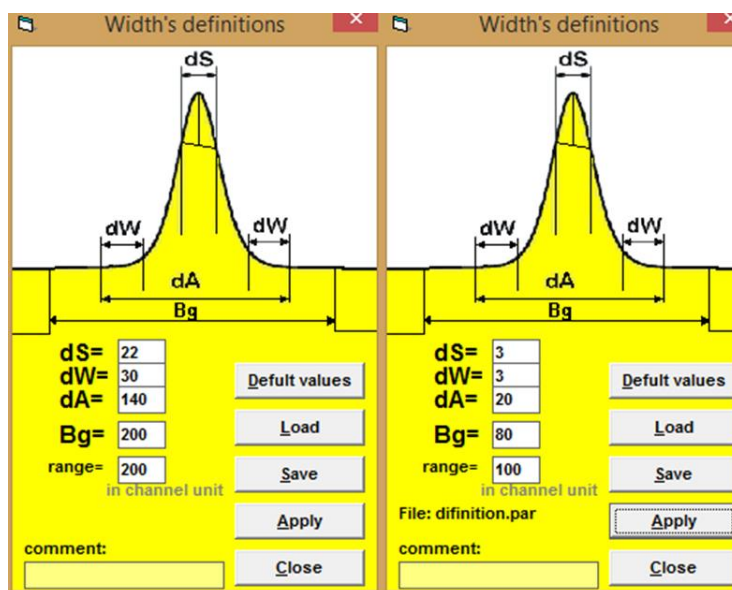


Рисунок 29. Окно настройки (Configuration>> Definition) для обычного спектра (слева) и спектра текущего эксперимента (справа) в окне программы SP-11.

На рисунке 29 можно увидеть, что низкое значение «dS» делает площадь на центральной области пика слишком маленькой. Это приводит к снижению чувствительности фита для S-параметров, что также приводит к увеличению погрешности.

Все спектры были обработаны с одинаковыми пределами для определения S-параметра. В результате, были получены значения S-параметров и соответствующие погрешности. Зависимость S-параметра от пространственного расположения представлена на рисунке 30.

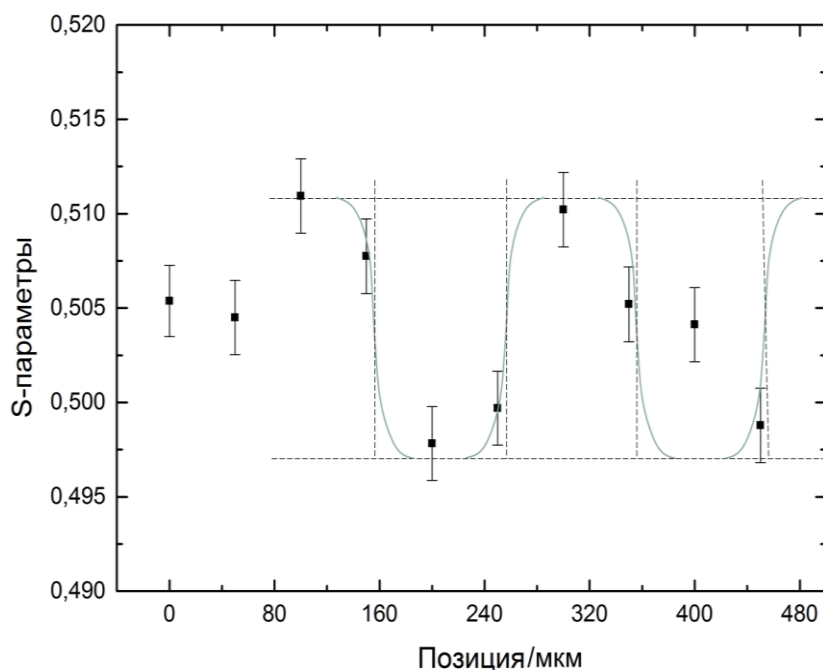


Рисунок 30. Зависимость S-параметров от пространственного расположения.

Из рисунка 30 с помощью пунктирной линий можно видеть, что полученные значения S-параметров имеют периодичность (кроме того, когда источник был приведен в соответствие со щелью, они имеют другие постоянные значения), длина которой как раз соответствует толщине слоев (около 80 мкм). Установка должна иметь идеальное разрешение (часть кривой на рисунке), которое было равно около 50 мкм. Подавляющее большинство точек, которые находятся на исследуемой области, попадают на теоретическую кривую. Это хорошо доказывает то, что с помощью данной установки метод спектрометрии Допплеровского уширения аннигиляционной линии может быть использован для исследования многослойных материалов. Установка имеет жизнеспособность.

Далее будут описаны эксперименты для образцов с дефектной структурой, имеющей неизвестный характер распределения по глубине образцов.

Глава 3. Послойный анализ дефектной структуры циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода методами ЭПА

В этой части с установкой для послойного анализа мы будем исследовать дефектную структуру циркониевого сплава Э110 после насыщения водородом. Циркониевый сплав Э110 состоит из циркония и 0,9-1,1% ниобия [52]. Из сплава Э110 изготавливают, главным образом, оболочечные трубы и прутки для заглушек ТВЭЛов реакторов типа ВВЭР (водо-водяные энергетические реакторы) и РБМК (реактор большой мощности, канальный), а также изделия, образующие каркас тепловыделяющих сборок: центральные трубы, направляющие каналы для поглощающих элементов, дистанционирующие решетки (ДР) [53].

В условиях эксплуатации ядерных реакторов, изделия из циркония претерпевают насыщение водородом. При этом, распределение водорода, зачастую, несет неравномерный характер, что приводит к такому негативному последствию, как замедленное гидридное растрескивание.

В условиях насыщения, соблюдаемых в данном эксперименте, на циркониевый сплав было нанесено покрытие из Ni, для увеличения скорости сорбции водорода. Это, в свою очередь приведет к неравномерному распределению водорода и, как следствие, неравномерному распределению водород-индуцированных дефектов. Это состояние системы цирконий-водород соответствует состоянию изделий после эксплуатации в реакторных условиях.

В ходе эксперимента были использованы прямоугольные плоские образцы сплава $Zr1\%Nb$ с фиксированным размером 15 мм. Образцы предварительно шлифовались для удаления загрязнения с использованием наждачной бумаги до шероховатости $Ra = 0,05$ мкм. Поверхностная ионная очистка и напыление магнетронного распыления проводились с помощью гибридного метода «Радуга Спектр». Во-первых, камера откачивалась до базового давления ниже $2,5 \cdot 10^{-3}$ Па. Перед осаждением образцы

подвергались ионной бомбардировке в тлеющем разряде аргона при 1800 В в течение 3 мин. Покрyтия Ni были нанесены магнетронным распылением в атмосфере аргона при постоянном давлении 0,11 Па в камере. Мощность распыления и ток составляли 2 кВт и 3 А, соответственно. Время осаждения составляло 10 мин. Насыщение водородом образцов проводили методом Сиверста на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller при постоянном давлении и температуре 2 атм в диапазоне 250-550 град и 550 град. В процессе насыщения поддерживались постоянная температура и давление в диапазоне 0,02-2 атм. Скорость нагрева составляла 6 К / мин.

После подготовки, внутренний край образца должен иметь несколько сотен мкм дефектов из-за неравномерной диффузии водорода. В конце концов был получен образец с неравномерно распределенными гидроидами. Схема и внешний вид образца представлен на рисунке 31.



Рисунок 31. Схема и внешний вид образца.

Как показано на рисунке, образец был размещен на платформе установки. Сверх на образце располагался источник позитронов ^{44}Ti . Платформа сверху вниз двигалась с шагом 30 мкм. Для каждой позиций спектрометр набирал 1 000 000 сигналов на часть пика 511 кэВ энергетического спектра.

График зависимости S-параметров от пространственной координаты образца циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода представлен на рисунках 32 и 33.

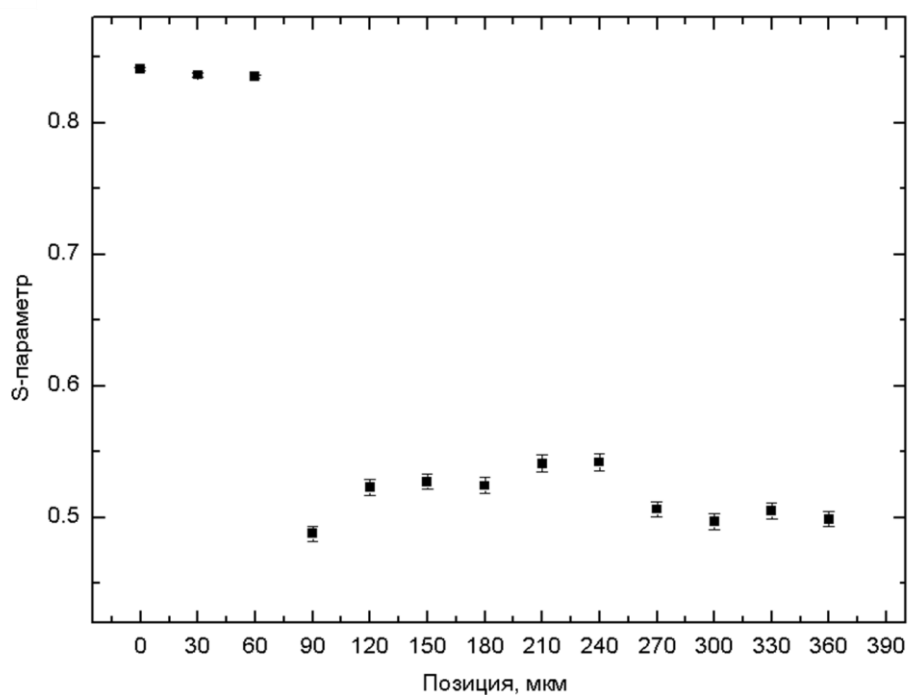


Рисунок 32. Зависимость S-параметров от пространственной координаты образца и источника.

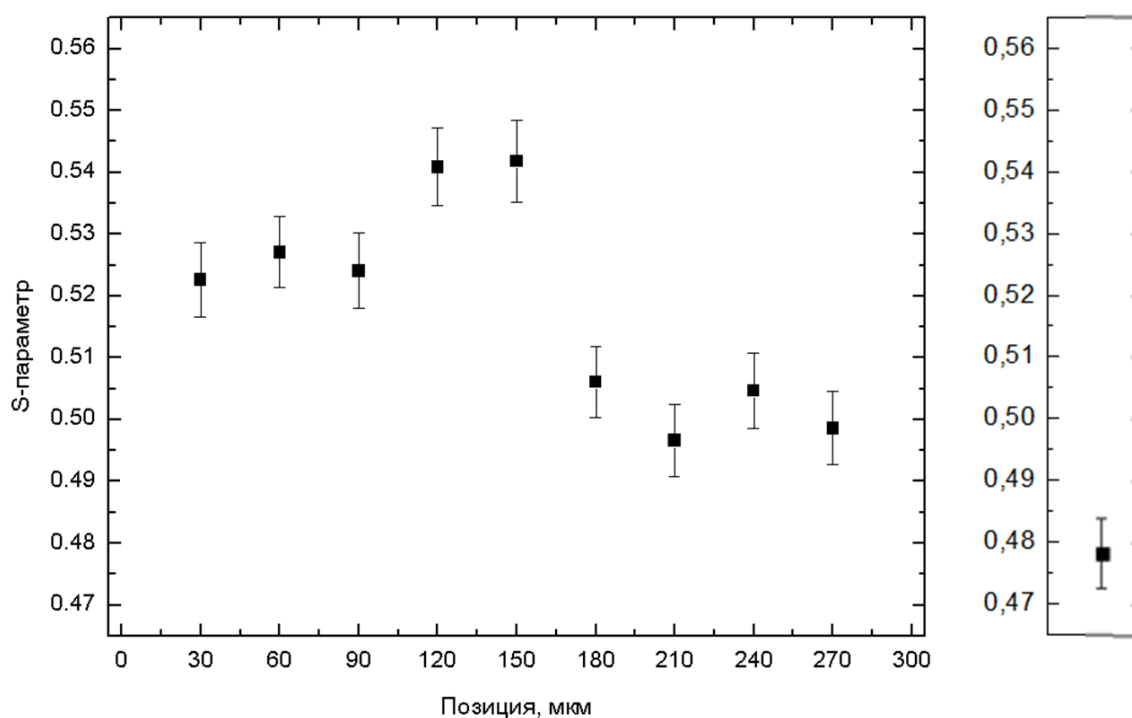


Рисунок 33. Зависимость S-параметров от пространственной координаты образца (справа S-параметр в бездефектном образце).

Из графика видно, что в крайнем левом углу находятся 3 точки, имеющие значение S-параметра около 0,8. Это соответствует источнику

позитронов. На глубине образца в интервале до 120 мкм, S-параметры были постоянны. Из-за того что в образце неравномерно диффундировал водород, эта часть должна соответствовать области плотного гидрида обода. С увеличением глубины до 180 мкм, S-параметр увеличивается и является непостоянным. Предполагается, что на этой глубине была переходная зона, в которой важную роль играют напряжения, приводящие к дальнейшему структурному повреждению (трещины). С позиции 180 мкм S-параметр уменьшается, и приближается к значению, соответствующему бездефектному образцу. Это указывает на то, что переходная зона прошла, появилась безгидридная часть. По сравнению с S-параметром в бездефектном образце, большее значение S-параметра объясняется, присутствием водорода в этой области в форме твердого раствора.

Для проверки предположения для S-параметров, были получены изображения поперечного сечения образца с помощью оптической микроскопии.

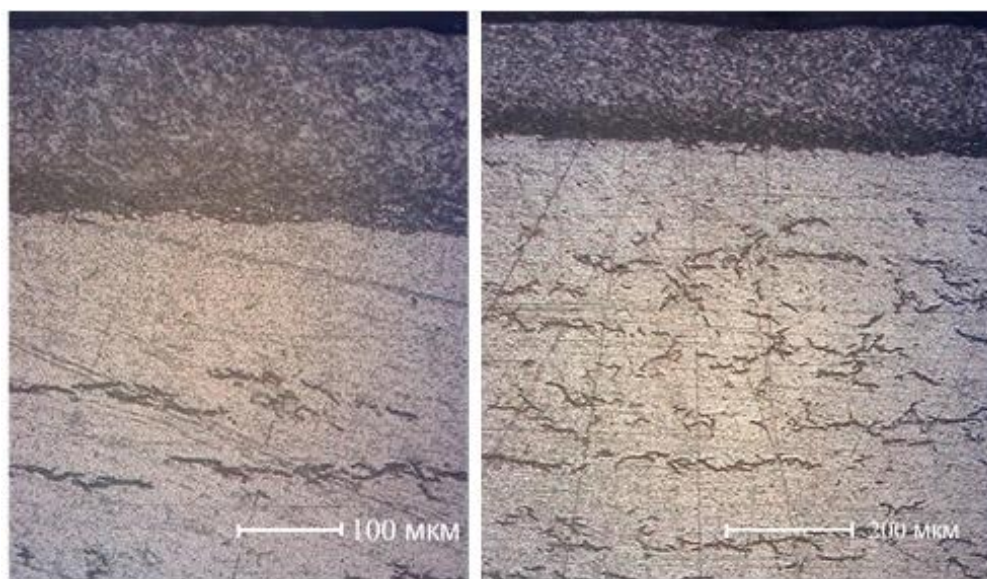


Рисунок 34. Изображения поперечного сечения образца в разных увеличениях.

Из фотографий видно, что часть гидрида (белая часть) располагается на поверхности до около 180 мкм, а в большей глубине идет безгидридная часть. Это совпадает с выдвинутыми выше выводами, получаемыми из результатов S-параметра.

Также была измерена твердость поперечного шлифа образца на микро-твердомере по методу Виккерса, и получены результаты зависимости твердости от глубины. Данные результаты представлены на рисунке 35.

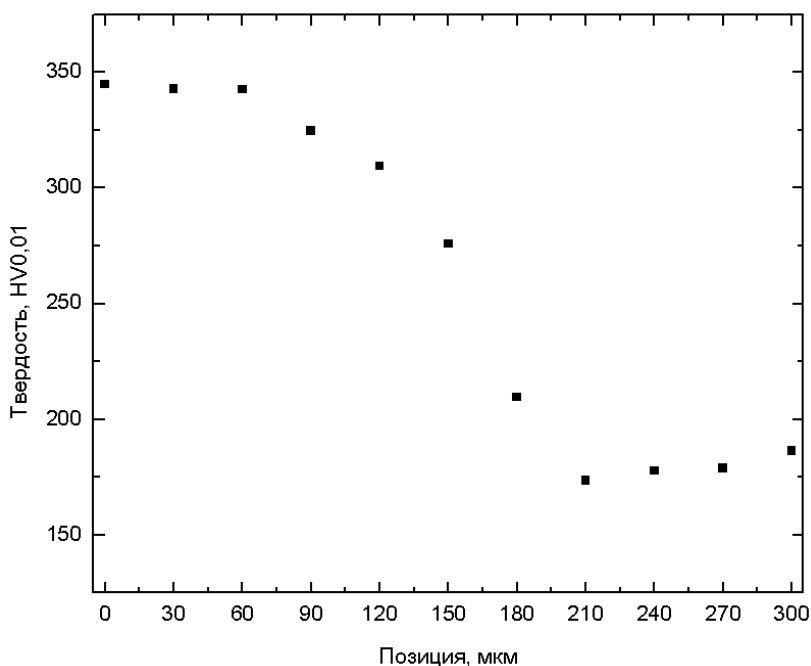


Рисунок 35. График зависимости твердости от глубины.

Из графика видно, что с увеличением глубины твердость уменьшается. Из-за того, что твердость гидроксида более чем твердость безгидридного циркония, это хорошо свидетельствует то, что гидрид существует на поверхность до глубины около 180 мкм. Это совпадает с выводом, полученным из результатов исследования S-параметра.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В процессе поиска источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов, оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием. При этом разработчики должны представить настоящее состояние и перспективы проводимых ими научных исследований.

Помимо превышения технических параметров над предыдущими разработками необходимо понимать коммерческую привлекательность

научного исследования.

Таким образом, целью данного раздела и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели следует решить следующие задачи:

- Определение коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Планирование научно-исследовательских работ;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;

- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 5.

Таблица 5. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
4. Энергоэкономичность	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
5. Надежность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
6. Уровень шума	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
7. Безопасность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	2	5	0,25	0,1	0,25
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0	4	4	4	0	0	0
12. Ремонтопригодность	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0	4	5	4	0	0	0
2. Уровень проникновения на рынок	0	4	4	4	0	0	0
3. Цена	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15

4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
5. Послепродажное обслуживание	0	1	1	1	0	0	0
6. Финансирование научной разработки	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
7. Срок выхода на рынок	0	1	4	4	0	0	0
8. Наличие сертификации разработки	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
Итого	1	61	77	73	4,05	3.7	3,95

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot b_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

b_i – балл i -го показателя.

Значение K позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя K получилось от 5 до 4, то такая разработка считается перспективной. Если от 4 до 3 – то перспективность выше среднего. Если от 3 до 2 – то перспективность средняя. Если от 2 до 1 – то перспективность ниже среднего. Если 1 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

4.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды выполняемого научного исследования проводят - SWOT-анализ. SWOT – Strengths (сильные стороны),

Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Анализ проводится в несколько этапов:

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

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован.

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

3. Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

4. Угроза. Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может

выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6. Матрица SWOT.

Сильные стороны	Слабые стороны
1. Актуальность тематики 2. Заявленная экономичность технологии 3. Квалифицированный персонал 4. Наличие полученных результатов и выводов 5. Экологичность технологии	1. Недостаточное количество измерений 2. Недостаточная активность у источника позитрона 3. Большой срок экспериментального периода; 4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований 5. Недостаток финансовых средств
Возможности	Угрозы
1. Использование источника, имеющего более радиоактивность 2. Возможность появления новых условий измерений 3. Использование инфраструктуры ТПУ	1. Отсутствие спроса на новые технологии 2. Отсутствие источника, имеющего достаточную радиоактивность 3. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

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

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 7.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или

«-».

Таблица 7. Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+

Таблица 8. Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	-	-	-
	B2	-	+	-	+	-
	B3	0	+	-	0	0

Таблица 9. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	-	-	-	-
	У2	0	+	0	0	-
	У3	+	-	-	-	-

Таблица 10. Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	+	-	+	+
	У2	+	+	0	+	+
	У3	-	+	-	+	-

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 11.

Таблица 11. SWOT-анализ.

	Сильные стороны	Слабые стороны
	1. Актуальность проблемы 2. Заявленная экономичность технологии 3. Квалифицированный персонал 4. Наличие полученных	1. Недостаточное количество измерений 2. Недостаточная активность у источника позитрона 3. Большой срок экспериментального периода;

	результатов и выводов 5. Экологичность технологии	4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований 5. Недостаток финансовых средств
Возможности 1. Использование источника, имеющего более радиоактивность 2. Возможность появления новых условий измерений 3. Использование инфраструктуры ТПУ	Заявленная повышенная экономичность, энергоэффективность и безопасность проекта способствует появлению дополнительного спроса на данный продукт. Также быстрый анализ полученных экспериментальных данных повлечет дополнительное решение фундаментальных задач исследования.	По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» можно сделать вывод о том, что закрытость кода MGAU не отразится на возможностях исследований, наличие тех или иных материалов, необходимых для исследования играют роль, но не значительную
Угрозы 4. Отсутствие спроса на новые технологии 5. Отсутствие источника, имеющего достаточную радиоактивность Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях	По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» можно сделать вывод о том, что отсутствие детектора в связи с его поломкой и задержка финансирования имеет слабое соответствие с сильными сторонами работы	По результатам анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы», что проведение подобных экспериментов в других ВУЗах и развитие новых методов тесно связаны со слабыми сторонами и являются уязвимыми местами в работе, так же как и недостаточное количество измерений и задержка поставок материалов.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Приведенный анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований. При этом, если переход разработки в стадию коммерциализации затянется, то возможна потеря спроса на готовую технологию.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения и планирования данной работы по теме Диагностика процесса распыления и исследование структуры полученных покрытий методом реактивного магнетронного распыления, сначала нужно ее разделить на несколько частей, то есть различные этапы:

1. Подготовительный этап. Выбор темы; изучение, анализ информации по выбранной теме. Технико-экономическое обоснование целесообразности проведения исследований по данной теме. Определение рабочей группы;
2. Формирование теоретической части. Выявление возможных
3. направлений исследования;
4. Проведение экспериментов по теоретической части;
5. Количественная оценка экспериментального исследования, выбор параметров, проведение численного моделирования;
6. Корректировка разработанных параметров после получения результатов эксперимента;
7. Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки.
8. Составление технологического отчета;
9. Завершающий этап. Проведение анализа результатов исследования всей рабочей группы. Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выдача задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение теории и материалов по теме	Руководитель, магистр
	3	Выбор направления исследования	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Разработка системы для послойного анализа методами позитронной аннигиляции	магистр
Практические вопросы	5	Планирование проверки разработанной системы	Руководитель, магистр
Проектные работы	6	Проверочный эксперимент	магистр
	7	Исследование равномерного слоистого образца	магистр
	8	Исследование образца с неравномерным распределением гидрида	магистр
Обсуждение результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, магистр
	10	Определение целесообразности проведения НИР	руководитель магистр
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	магистр
Защита отчета	12	Подготовка защиты ВКР	руководитель магистр

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входили научные сотрудники, преподаватели, инженеры, техники, лаборанты и студенты. По каждому виду работ устанавливалась соответствующая должность исполнителя.

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{\text{ож } i} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max } i}}{5}$$

где $t_{\text{ож } i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы; t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы; $t_{\text{max } i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы.

Для обоснованного расчета заработной платы необходимо продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p ,

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож } i}}{Ч_i}$$

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

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

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирование НТИ была выбрана диаграмма Ганта. Она представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания

выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения представлены в таблице 13.

Таблица 13. Временные показатели проведения научного исследования

Названиеработы	Трудоемкостьработ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini} , чел-дни	t_{maxi}	$t_{\text{ожи}}$			
1	4	8	5,6	руководитель	5,6	8 или 9
2	12	20	15,2	руководитель магистр	7,6	11или 12
3	2	5	3,2	руководитель	3,2	5
4	2	4	2,8	руководитель магистр	1,4	2 или 3
5	4	7	5,2	магистр	5,2	8
6	5	8	6,2	руководитель магистр	3,1	5
7	13	20	15,8	магистр	15,8	23 или 24
8	12	16	13,6	магистр	13,6	20 или 21
9	4	8	5,6	руководитель магистр	2,8	4

10	3	5	3,8	руководите ль магистр	1,9	3
11	18	22	19, 6	магистр	19,6	29 или 30
12	7	12	9	руководите ль магистр	4,5	7

График строится в виде таблицы 13 с разбивкой по месяцам за период времени полтора выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Этапы и подэтапы		Содержаниеработ	Т _к , кал.дн.	Времявыполненияработ											
				Февр.	Март			Апрель			Май			Июнь	
1	1	Составление и утверждение технического задания	8												
2	2	Подбор и изучение материалов по теме	11												
	3	Выборнаправленияисследования	5												
3	4	Разработка системы для послойного анализа методами позитронной аннигиляций	2												
4	5	Планирование проверки разработанной системы	8												
5	6	Проверочный эксперимент	5												
	7	Исследование равномерного слоистого образца	23												
	8	Исследование образца с неравномерным распределением гидрида	20												
6	9	Оценкаэффективностиполученн ыхрезультатов	4												
	10	Определениецелесообразностип роведения НИР	3												
7	11	Составлениепояснительнойзапис ки	29												
	12	Подготовказащиты ВКР	7												
Итогодней			125		учный руководитель -  цент						- ру		одитель+студент		

Этапы и подэтапы		Содержаниеработ	Т _к , кал.дн.	Времявыполненияработ											
				Февр.	Март			Апрель			Май			Июнь	
1	1	Составление и утверждение технического задания	8												
2	2	Подбор и изучение материалов по теме	11												
	3	Выборнаправленияисследования	5												
3	4	Разработка системы для послойного анализа методами позитронной аннигиляций	2												
4	5	Планирование проверки разработанной системы	8												
5	6	Проверочный эксперимент	5												
	7	Исследование равномерного слоистого образца	23												
	8	Исследование образца с неравномерным распределением гидрида	20												
6	9	Оценкаэффективностиполученн ыхрезультатов	4												
	10	Определениецелесообразностип роведения НИР	3												
7	11	Составлениепояснительнойзапис ки	29												
	12	Подготовказащиты ВКР	7												
Итогодней			125		учный руководитель -  цент						- ру		одитель+студент		

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе данного исследования формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- а) материальные затраты НТИ;
- б) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- в) основная заработная плата исполнителей темы;
- г) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- д) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- е) затраты научные и производственные командировки;
- ж) контрагентные расходы;
- з) накладные расходы.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх } i}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.); Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15-25% от стоимости материалов. от стоимости материалов). Например, как показано в таблице 11,

$$\begin{aligned} З_M &= (1 + k_T) \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх } i} = (1 + 0,15) \cdot (2000 + 500 + 45000) \\ &= 54625 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Стоимость всех материальных затрат, используемых при разработке

проекта приведена в таблице 14.

Таблица 14. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Техническая документация	шт	1	2000	2000
Канцелярские товары	шт	5	100	500
Компьютер	шт	1	45000	45000
Всего за материалы				47500
Транспортно-заготовительные расходы (20%)				9500
Итого по статье Z_M				57000

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе $M = 10,4$); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала ($F_d = 1794$ часов/год/человек = 236 рабочих дней/год/человек).

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

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot \kappa_{\text{р}}$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $\kappa_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Например, для научного руководителя имеется месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot \kappa_{\text{р}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

А можно получить среднедневную заработную плату научного руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{\text{Ф}_{\text{д}}} = \frac{57000 \cdot 10,4}{236} = 2511,86 \text{ руб.}$$

А основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot \text{Т}_{\text{раб}} = 2511,86 \cdot 38 = 95450,85 \text{ руб.}$$

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2206руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{\text{Ф}_{\text{д}}} = \frac{2206 \cdot 11,2}{223} = 110,79 \text{ руб.}$$

Основной заработок студента, за время преддипломной практики, равен:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot \text{Т}_{\text{раб}} = 110,79 \cdot 75,5 = 8364,99 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12–20% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = \text{К}_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $\text{К}_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб., например, дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп}} = \text{К}_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 95450,85 \cdot 0,12 = 11454,10 \text{ руб.}$$

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = \text{К}_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

где $\text{К}_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

($k_{\text{внеб}} = 0,3$). Например, для научного руководителя отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (8364,99 + 11454,10) = 5945,73 \text{ руб.}$$

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками). В данной работе отсутствуют контрагентные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{м}} + З_{\text{обор}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}} + З_{\text{науч}} + З_{\text{конт}})$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Полученный расчет бюджета затрат представлен в таблице 15.

Таблица 15. Расчет бюджета затрат.

Наименование статьи	Научный руководитель руб.	Магистр руб.	Итого руб.
Материальные затраты	-	3000	3000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	95450	8365	103815
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11454	1000	12454
Отчисления во вне бюджетные фонды	5946	-	5946
Накладные расходы	18815	-	18815
Бюджет затрат	131365	9365	140730

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную

эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

4.5.1 Динамические методы экономической оценки инвестиций

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срококупаемости (**DPP**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индексдоходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку

инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

4.5.1.1. Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле

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

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

I₀ – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета (**t**=0, 1, 2... **n**); **n** – горизонт расчета;

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

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: **NPV**>0.

Чем больше **NPV**, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если **NPV** является положительной.

Таблица 16. Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб	0	112,2	112,2	112,2	112,2
2.	Итого приток	0	112,2	112,2	112,2	112,2
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-140,7	0	0	0	0
4.	Операционные затраты,	0	23,3	23,3	23,3	23,3

	тыс. руб С+Ам+ФОТ					
4.1	Налогообприбыль=1-4		88,9	88,9	88,9	88,9
5.	Налоги Выр-опер=донал.приб*20%	0	17,7	17,7	17,7	17,7
6.	Итого отток Опер.затр+налоги	-140,7	41	41	41	41
7.	Чистый денежный поток ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-140,7	71,2	71,2	71,2	71,2
8.	Коэффициентдисконтирова ния (приведенияпри $i=0,20$)	1,0	0,833	0,694	0,578	0,482
9.	Дисконтированный чистый денежный поток ($c7*c8$)	-140,7	59,31	53,11	41,15	34,32
10.	То же нарастающим итогом NPV=90,7	-140,7	-38,26	15,23	56,38	127,81

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 127810 руб., что позволяет его эффективности.

4.5.1.2. Дисконтированный срок окупаемости

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

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. табл. 17).

Таблица 17. Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4

1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-140,7	59,31	53,11	41,15	34,32
2.	То же нарастающим итогом	-140,7	-38,26	15,23	56,38	127,81
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 1 + 38,26/53,11 = 1,72 \text{ месяцев}$				

4.5.1.3. Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 17 и графика, представленного на рисунке 18.

Таблица 18. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№ п/п	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV
1	Чистые денежные потоки	-140,7	59,31	53,11	41,15	34,32	
2	коэффициент дисконтирования						
	$i=0,1$	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	$i=0,4$	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	$i=0,6$	1	0,625	0,390	0,244	0,095	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,070	
3	Дисконтированный денежный поток						
	$i=0,1$	-140,7	53,91279	40,82092	30,90365	23,44056	55,57792
	$i=0,2$	-	49,40523	34,2974	23,7847	16,54224	30,5296

		140,7		8			5
	i=0,4	-140,7	42,34734	25,2042	14,9786	8,9232	2,04666
	i=0,5	-140,7	39,55977	21,9424 8	12,1392 5	6,79536	13,0631
	i=0,6	-140,7	37,06875	19,2738	10,0406	3,2604	23,8565
	i=0,7	-140,7	34,87428	16,5557	8,35345	2,4024	31,3142

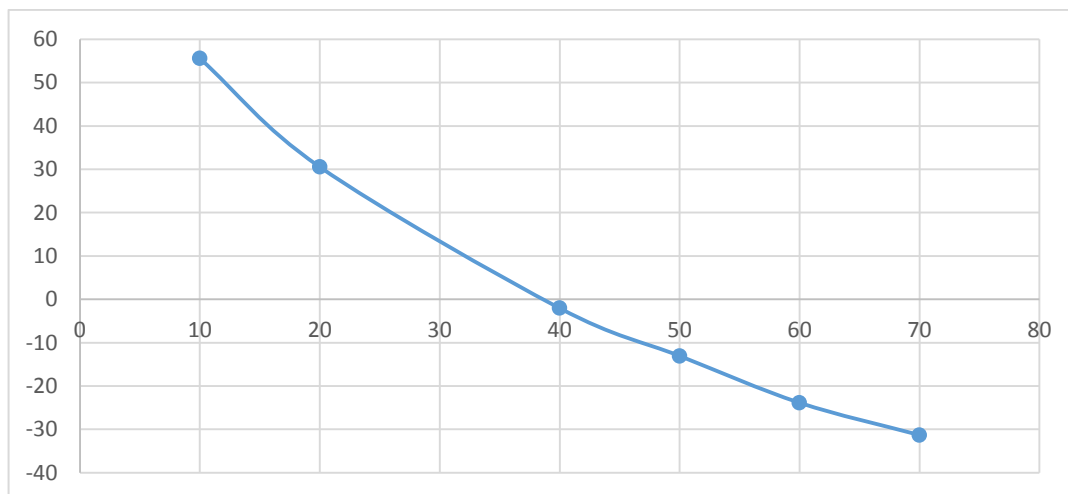


Рисунок 36 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,39.

4.5.1.4. Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

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

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{203,47}{140,73} = 1,45$$

$PI=1,45>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$; $NPV=140,7$ тыс

4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 32). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi}

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

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

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

Таблица 20 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0.1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.15	4	2	3
3. Помехоустойчивость	0.15	5	3	3
4. Энергосбережение	0.2	4	3	3
5. Надежность	0.25	4	4	4
6. Материалоемкость	0.15	4	4	4
ИТОГО	1	3,94	3,15	3,5

$$I_{\text{ТП}} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,01 = 3,94$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 = 3,15$$

$$\text{Аналог 2} = 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 = 3,5$$

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p} \cdot I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{5}{1} = 5;$$

$$I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,15}{1,09} = 2,89;$$

$$I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{3,5}{1,13} = 3,10.$$

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

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

где $\mathcal{E}_{cp}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{мэ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{мэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 21. Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,09	1,13	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,15	3,5	5
3	Интегральный показатель эффективности	2,89	3,10	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,73	1,61	1

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам, затратам по основной заработной плате исполнителей тем (3000руб), затратам по дополнительной заработной плате (12454руб), затратам на научные и производственные командировки (17183,59руб), отчислениям во внебюджетные фонды (5946руб) и накладным расходам (18815руб). Всего бюджет составил 140730руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять финансовое состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Глава 5. Социальная ответственность

Описание рабочего места

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрен спектрометр для измерения позитронной спектра, который является лабораторной установкой. Радиоактивный материал, который может быть использован в качестве источника позитронов, помещает на рабочем месте.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе, наиболее типичной ЧС является воздействие радиации.

5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В нашей лаборатории, различные оборудования, а также используемые ^{44}Ti в качестве источника позитронов, могут делать следующие вредные факторы: не комфортные метеоусловия, вредные вещества, низкая температура и т.д.

5.1.1 Метеоусловия

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются температура, подвижность и влажность.

Эти параметры из нормы приводят к ухудшению благосостояния работника, снижению производительности труда и возникновению различных заболеваний.

Работа в условиях повышенной температуры, сопровождающаяся усилением потоотделения, что приводит к обезвоживанию, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также влияет на функционирование Другие органы и системы - ослабляются. Внимание, координация движений ухудшается, реакция замедляется и т. Д. При работе на газоанализаторе важно отметить, что запрещено прикасаться к сильно нагретым элементам экспериментального комплекса.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха, способствующая перегреву организма, при низкой температуре, теплопередаче с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для температуры и влажности устанавливаются в соответствии с СанПин

2.2.4.548-96, который представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах
производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia(до139)	22-24	60-40	0,1
Теплый	Ia(до139)	23-25	60-40	0,1

Для удобства работы в помещении параметры микроклимата должны быть нормализованы. Необходимо применять защитные меры для технологий и средств защиты от высоких и низких температур, систем отопления и вентиляции.

5.1.2 Радиоактивность

Источник для получения позитронов является ^{44}Ti .

^{44}Ti (Изотопы титана) - твердое тело, изотоп неустойчивый, с периодом полураспада 59 лет. Он распадается на изотоп ^{44}Ca , который представляет собой 2% -ную примесь к элементарному кальцию. Этот распад и, следовательно, нуклеосинтез ^{44}Ti считается доминирующим, если не единственным, производственным каналом для ^{44}Ca ; Поэтому исследование космического ^{44}Ti может показать, как образуется космический Кальций.

Согласно действующим в РФ нормам РБ организационными мероприятиями, обеспечивающими радиационную безопасность работ, являются:

- оформление работы нарядом или распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерывов в работе;
- оформление окончания работы.

5.1.3 Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 3$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \times 3 = 18 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c=50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{IT}=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,3$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,3 = 2,2 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2,2 = 2,9 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{3}{2,9} = 1,03 \approx 1$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{6}{2,9} = 2,06 \approx 2$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 1 = 2$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,9}{2} = 1,45 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 37 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

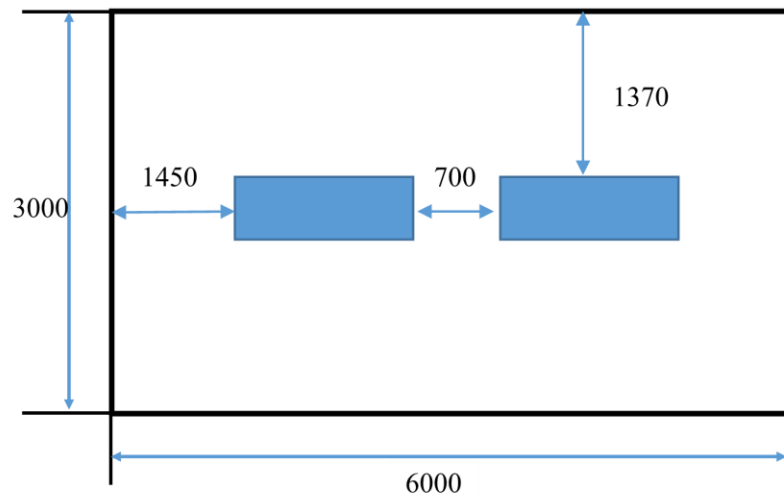


Рисунок 37. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,47$.

Тогда число ламп в помещении:

$$N = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{лд}} \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 1,1}{2600 \cdot 0,47} = 3,6;$$

Расчет искусственного освещения показал, что нужно 4 лампы для освещения, т.е. 2 светильников ОДОР-2-40.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \times A \times B \times K_3 \times Z}{N \times \eta} = \frac{150 \times 6 \times 3 \times 1,5 \times 1,1}{4 \times 0,47} = 2369,68 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \times 100\% = \frac{2600 - 2369,68}{2600} \times 100\% = 8,86\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 8,86\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.1.4 Электрическое напряжение

Воздействие электрического напряжения на человека связано с протеканием через него тока. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый неотпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебной-профилактических мероприятий.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь, до приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

5.1.5 Воздействие низкой температуры

Запрещается пить жидкий азот, а также необходимо одевать перчатки, во

избежание получения обморожения при заливке жидкого азота.

5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.2.1 Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.
3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

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 (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами — диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей.

При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта; при смене патронов трубчатых предохранителей он должен быть в очках. Клещи нужно держать в вытянутых руках.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.

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

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории $A_{н}$, $B_{н}$, $B_{н1}$, $G_{н}$ и $D_{н}$.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости; твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с кислородом воздуха.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (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.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

б) утечка метана (при концентрации в воздухе от 4,4 % до 17 % метан взрывоопасен).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

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

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

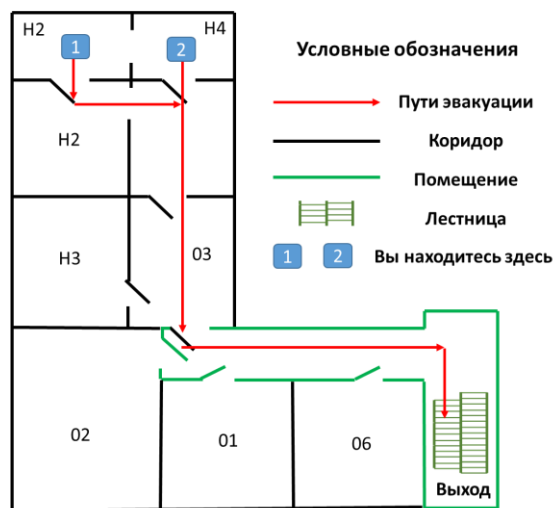
Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

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. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 38).



План эвакуации из лаборатории

Рисунок 38. Пути эвакуации.

5.3. Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

Лабораторная работа всегда связана с постоянным образованием различных отходов: отходы инструмента, технологической оснастки, абразивных материалов, отходы бумаги и т.д.

При работе с установкой спектрометров ЭПА возможно образование отходов: бумага и металл (Zr Э110). Бумагу используют для записи результатов экспериментов. Эти отходы могут вызвать загрязнение литосферы. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно использовать бумагу повторно и перерабатывать отходы металлов методом повторного изготовления.

5.4 Защита в ЧС

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. 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 все чаще.

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, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис-инженерами.

Запрещается приступать к работе, если выявлены неисправности любого используемого оборудования, если истек срок очередного освидетельствования баллона, истек срок проверки манометра, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний безопасности труда.

Работа с установкой спектрометров ЭПА должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора.

- После окончания работы с установкой необходимо:
- Закрыть вентили газовых баллонов;
- Убедиться, что все клапаны контроллера закрыты;
- Выйти из программы, отключить питание компьютера;
- Отключить установку спектрометров ЭПА и насос от электросети;
- Проверить целостность газовых баллонов, их закрепление, отсутствие утечки газа.

При обнаружении неисправной работы установки спектрометров ЭПА необходимо прекратить работу, выйти из программы, собирать радиоактивные источники, отключить питание компьютера, установку спектрометров ЭПА от электросети и известить об этом руководителя.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, отключить электрооборудование, собирать радиоактивные источники, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

5.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений

К работе на установки спектрометров ЭПА допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установки спектрометров ЭПА, имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные

документы:

- инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установки спектрометров ЭПА;
- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 2000 В;
- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;
- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

Заключение

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью установки для послойного анализа и спектрометров позитронной аннигиляций, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Вывод

Данная работа посвящена разработке и реализации установки для послойного анализа методами позитронной аннигиляций. Посредством серии экспериментов, была подтверждена ее жизнеспособность. Был проведен эксперимент по послойному анализу на примере циркониевого сплава Э110 с неравномерным распределением водорода.

Неравномерная диффузия водорода приводит к накоплению большого количества гидрида в поверхности образца; с увеличением глубины, концентрация гидрида уменьшается. При дальнейшем увеличении глубины, содержание гидрида дополнительно снижается до тех пор, пока не исчезнет.

Список используемых источников

1. Бордулев Ю. С. Реализация и применение методов электрон-позитронной аннигиляции для исследования дефектной структуры материалов// - Физико-технический институт, Томский политехнический университет, Томск, 2013;
2. Щмаков А.А. Водородное охрупчивание и гидридное разрушение циркониевых изделий водоохлаждаемых ЯЭУ: Автореф. диссертация... д-ра физ.-мат. наук. – Москва, 2007. – 164 с;
3. E. Dryzek: J. Mat. Science 38, 3755 (2003);

4. J.Dryzek, E.Dryzek, T. Stegemann, B. Cleff: Tribology Lett. 3, 269 (1997);
5. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/543878/>, свободный. – Загл. с экрана;
6. Koutsky J., Kocik J. Radiation damage of structural materials// Materials science monographs. V. 79. Elsevier. 1994;
7. Шмаков А. А. Механизм поглощения водорода сплавами циркония// Атомная техника за рубежом. 2000. № 8. С. 16-20;
8. Шмаков А. А., Водородное охрупчивание и гидридное разрушение циркониевых изделий водоохлаждаемых ЯЭУ// 01. 04. 07 – Физика конденсированного состояния. – 2006. 70:07-1/251 MacKenzie I.K., in: Proceedings International School of Physics «Enrico Fermi», Course LXXXIII. – 1983. – P. 196;
9. Калинин Б. А., Шмаков А. А. Поведение водорода в реакторных сплавах циркония// Второй международный семинар «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами» г. Саров, апрель 2004 г.;
10. Krause-Rehberg R., Leipner H. S. Positron annihilation in semiconductors: defect studies. – Springer, 1999. – 324 p;
11. Тэн Минкан, Шен Дэсинь. Позитронной спектроскопии аннигиляции и его применение//Атомная энергетика Пресс.-2000;
12. Hautojärvi P. Positrons in Solids. Series: Topics in Current Physics, – Berlin, Springer Berlin Heidelberg, 1979, – 276 p;
13. Nieminen R. M., Manninen M. J. Positrons in imperfect solids: theory. – Springer Berlin Heidelberg, 1979. – С. 145-195;
14. Brandt W., Dupasquier A. Positron solid-state physics. – Amsterdam: North-Holland Pub. Co., 1983. – 710 p;
15. West R. N. Positron studies of lattice defects in metals //Positrons in Solids. – Springer Berlin Heidelberg, 1979. – P. 89-144;
16. West R. N. Positron studies of condensed matter //Advances in Physics. – 1973. – Vol 22. – №. 3. – P. 263-383;

17. Puska M. J., Nieminen R. M. Defect spectroscopy with positrons: a general calculational method //Journal of Physics F: Metal Physics. – 1983. – Vol. 13. – №. 2. – С. 333;
18. Прокопьев Е.П., Тимошенков С.П., Графутин В.И., Мясищева Г.Г., Фунтиков Ю.В. Позитроника ионных кристаллов, полупроводников и металлов. Монография. - М.: МИЭТ, 1999. - 176 с;
19. M. J. Puska, R. M. Nieminen, J. Phys. F: Met. Phys. 13, 333-1983; Reinarrd Krause-Rehberg Fundamentals of positron annihilation spectroscopy and its application in semiconductors.// ICPA -15 The XV International Conference on Positron Annihilation (ICPA--15) Kolkata, INDIA, Jan 18--23, 2009;
20. Dumasquier A., Mills A.P. Positron Spectroscopy of Solids//Proceedings International School of Physics «Enrico Fermi», Course CXXV. – 1993;
21. Coleman P. G. Positron beams and their applications/World Scientific. – UK, 2002. - 322 p;
22. Krause-Rehberg R., Leipner H.S. Positron Annihilation in Semiconductors /Springer-Verlag. – Berlin, 1999. – 378;
23. MacKenzie I.K., in: Proceedings International School of Physics «Enrico Fermi», Course LXXXIII. – 1983. – P. 196;
24. R. A. Sharp, R. M. Diamond, A new titanium nuclide: Ti44, Phys. Rev. 93, 358, 1954;
25. Чэнь Чжицюань. Основные принципы методов позитронной аннигиляции European Association for Quality Assurance in Higher Education. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.geocities.jp/chenzq1969/pas.htm>, свободный. – Загл. с экрана;
26. W. Brandt, in: Proceedings International School of Physics «Enrico Fermi», Course LXXXIII. – 1983. – P. 1;
27. Диффузия позитронов. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://skachate.ru/fizika/31285/index.html?page=4>, свободный. – Загл. с экрана;
28. Ю. Вэйцжонь. Позитронно физики и ее приложений//науки Пресс.-2003;

29. Nieminen R.M., Oliva J. - Phys. Rev. B. – 1980. – 22. – P. 2226;
30. Cizek J., Vlcek M., Prochazka I. Digital setup for Doppler broadening spectroscopy // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2011. – Vol. 262. – №. 1. – P. 012014;
31. Лаптев Р. С. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород // Физико-технический институт, Томский политехнический университет, Томск, 2014;
32. Boroński E., Nieminen R. M. Electron-positron density-functional theory // Physical Review B. – 1986. – Vol. 34. – №. 6. – P. 3820;
33. Dupasquier A., Romero R., Somoza A. Positron trapping at grain boundaries // Physical Review B. – 1993. – Vol. 48. – №. 13. – P. 9235;
34. West R. N. Positron studies of lattice defects in metals // Positrons in Solids. – Springer Berlin Heidelberg, 1979. – P. 89-144;
35. Y. Kaminura, T. Tsutsumi, E. Kuramoto, Phys. Rev. B 52, 879 (1995);
36. H. Häkkinen, S. Mäkinen, M. Manninen, Phys. Rev. B 41, 12441 (1990);
37. J. Kąsny. LT for Windows, Version 9.0, Inst. of Phys// Chem. of Metals, Silesian University, Bankowa 12, PL-40-007 Katowice, Poland, March-2002- (private Communication);
38. C. H. Hodges, J. Phys. F: Met. Phys. 4, L230-1974;
39. Reinarrd Krause-Rehberg Fundamentals of positron annihilation spectroscopy and its application in semiconductors.// ICPA -15 The XV International Conference on Positron Annihilation (ICPA--15) Kolkata, INDIA, Jan 18--23, 2009;
40. Asoka-Kumar P., Alatalo M., Ghosh V.J., Kruseman A.C., Nielsen B., Lynn K.G. - Phys. Rev. Lett. – 1996. – 77. – P. 2097;
41. Kauppinen H., Baroux L., Saarinen K., Corbel C., Hautojärvi P. - Phys.: Condens. Matter – 1997. – 9. – P. 5495;
42. Gebauer J., Lausmann M., Staab T.E.M., Krause-Rehberg R., Hakala M., Puska M.J. - Phys. Rev. B – 1999. – 60. – P. 1464;
43. Mantl S., Triftshäuser W. - Phys. Rev. B – 1978. – 17. – P. 1645;

44. Saarinen K., Laine T., Skog K., Mäkinen J., Hautojärvi P., Rakennus K. Uusimaa P., Salokatve A. - Appl. Phys. Lett. – 1996. – 77. – P. 3407;
45. Liskay L., Corbel C., Baroux L., Hautojärvi P., Bayhan M., Brinkmann A.W., Tatarenko S. - Appl. Phys. Lett. – 1994. – 64. – P. 1380;
46. Čížek J., Vl ek M., Procházka I. Digital spectrometer for coincidence measurement of Doppler broadening of positron annihilation radiation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2010. – Vol. 623. – №. 3. – P. 982-994;
47. Kong W. et al. A digital measurement system of 2-detector Doppler broadening // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2004. – Vol. 225. – №. 4. – P. 623-627;
48. Petriska M. et al. Digital Coincidence Doppler Broadening setup at FEI STU // Physics Procedia. – 2012. – Vol. 35. – P. 117-121;
49. Твердотельные полупроводниковые детекторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rad-stop.ru/25-tverdotelnyie-poluprovodnikovyye-detektoryi/>, свободный. – Загл. с экрана;
50. Agilent Technologies. Official site. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agilent.com>, свободный. – Загл. с экрана;
51. Dryzek J. Defect depth scanning over the positron implantation profile in aluminum // Applied Physics A. – 2005. – A 81. – С. 1099–1104;
52. Иолтуховский А. Г., Калинин Б. А., Шмаков А. А. Водородное охрупчивание и гидридное растрекивание циркониевых элементов легководных реакторов. М.: МИФИ. 2001;
53. Кобылянский Г. П., Новоселов А. Е. Радиационная стойкость циркония и сплавов на его основе: Справочные материалы по реакторному материаловедению. Димитровград: ГНЦ РФ НИИАР. 1996.

Introduction

The methods of positron annihilation (PA) are one of the most sensitive (sensitivity of 10^{-7} vacancies / atom) techniques for studying the defect structure [3]. PA methods can determine the types, sizes and concentrations of defects in materials.

The method of positron lifetime spectrometry can be used to accurately study the defective structure of a material, to determine the concentration, size and type of material defects. The method of spectrometry of Doppler broadening of the annihilation line gives information on the momentum distribution of electrons in material and defects of various types [3]. The range of positron implantation is up to several hundred micrometers, [5], methods PA, which are non-destructive methods, can be used for high-precision detection of defects at the atomic level [6]. These are good levels for examining internal defects in materials.

However, in many practical situations, the distribution of defects in depth is uneven (for example, defects in zirconium fuel cells of nuclear reactors [4]). In their basic configuration, detectors can register signals from any direction, that is, signals annihilating in any layers, detectors will still receive. Methods PA give only integral information about the defective structure and cannot intended for studying the defective structure on specific layers. Therefore, it is necessary to use tools that can layer-by-layer to investigate non-uniformly distributed defects. This problem will be solved with the implementation of the installation for layer analysis. The installation can be created from a slot and micrometer. The slot can filter signals and the micrometer can adjust the location of the investigated sample. Due to this, this unit can be used for layer analysis, which is based on methods PA.

To test the plant's operation, the zirconium hydrogen system has been chosen as the object of investigation. At present, zirconium alloys are widely used as fuel rods in water-cooled reactors [1]. Under the condition of the reactor, the water is broken down into hydrogen and oxygen, hydrogen, the amount of which exceeds

the solubility, can form a chemical bond with zirconium - zirconium hydride. Due to the lower density and greater brittleness, hydride leads to the destruction of the fuel element [2]. With our setup, we will try to investigate the distribution of hydrogen-induced defects in zirconium E110.

The purpose of this work is to create an analog-to-digital spectrometric complex for layer-by-layer analysis of the defective structure of materials and it is testing using the example of zirconium E110 alloy with uneven hydrogen distribution. To achieve this goal, it was necessary to solve the following **tasks**:

1. Development and implementation of the unit for layer analysis;
2. Approbation of the installation on a defect-free material, as well as on a material with a known defect distribution;
3. Application of the developed system for layer-by-layer analysis of the defective structure of the zirconium alloy E110 with non-uniform distribution of hydrogen.

In this paper, a system for layer-by-layer analysis with a positron annihilation spectrometer was developed and implemented. As a source of positrons, radioisotope source ^{44}Ti been used in this work. The implementation of these techniques allows for layer analysis of the defective structure of materials.

As a material with a developed defect structure, we chose the zirconium alloy after hydrogen saturation due to the presence of uneven defect distributions, such as uneven hydride distributions, uneven hydrogen diffusion.

The author's personal contribution is to implement the system for layer-by-layer analysis, tuning and calibration of the Doppler line broadening line of the annihilation line, conducting experiments, analyzing spectra, processing and discussing the results, approbating the results of the work.

1. Physical foundations of the positron annihilation methods

The positron is the first antiparticle, defined as the e^+ antiparticle of an electron. P.A.M. Dirac predicted this in 1928 as an interpretation of the negative

solutions for the energy of his quantum theory of electrons. Anderson made the first experimental proof of the existence of a positron during his experiments on the study of cosmic rays using a Wilson camera. Since a positron is an antiparticle of an electron, it is unstable in matter. After entering the material, the positron loses energy (Thermalized), diffuses and annihilates, interacting with one of the electrons in the medium. The thermalization process involves the loss of positron energy by electron and phonon excitation [7]. The positrons produced in the β -decay reaction, penetrating the material, and experiencing inelastic collision processes with other particles, rapidly lose kinetic energy to the thermal level. Diffusing along the lattice, thermalized positrons annihilate with the surrounding electrons, and produce two γ -quanta that have in total the same energy as the energy of the electron-positron pair. The local electron density at the annihilation site affects the positron annihilation rate [7]. In addition, if positrons have been captured by defects, the positron lifetime will be longer. Thus, the positron annihilation methods can be used to study the local electron density of solids and the defective structure of materials, and also have the highest sensitivity to structure defects (Sensitivity of 10^{-7} vacancies / atom) [3].

At present, electron-positron annihilation methods play an important role in the study of materials, especially for measuring the size of structural defects in the nuclear and electronics industry. These methods can determine the types of defects in the analysis of emission of gamma quanta. The specific PA methods are:

4. the positron lifetime spectrometry method used for precision investigation of the defective structure of a material, determination of the concentration, size and type of material defects;
5. the method of spectrometry of the Doppler broadening of the annihilation line gives information on the momentum distribution of electrons in material and defects of various types;
6. Angular distribution of annihilation photons, which also gives information on the momentum distribution of the electronic structure in the material.

1.1 Sources of positrons

In order to use the PA method for research, it is necessary to create positrons. There are several ways to create positrons. At present, the most common sources of positrons are high-energy gamma quanta and radioactive sources.

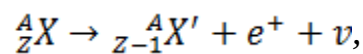
1.1.1 Gamma quanta

Gamma quanta, having energy more than twice the rest energy of an electron (1.022 MeV), passing near the nucleus, are absorbed, and their energy will be converted into electron-positron pairs. This method is effectively used in many laboratories. The advantage of this method is that it makes it easy to obtain pulsed positron beams for layer-by-layer measurements of matter by measuring the positron lifetime [8].

1.1.2 Radioactive sources

In experiments using EPA methods, radioactive isotopes are most commonly used, which should have suitable half-lives, for example, ^{22}Na ^{64}Cu ^{60}Co ^{44}Ti [7]. In experiments, ^{22}Na is often used with a maximum positron energy of 0.545 MeV, and with a half-life of 2.6 years. During the decay of this isotope, the positron and the nuclear γ -ray emit almost simultaneously.

The Beta decay described by the following equation:



where X – maternal core, X' – child core Z и A – charge and mass numbers, e^+ – positron, ν – neutrino [10].

In this work, we use radioactive titanium (^{44}Ti). The high value of the maximum kinetic energy of positrons emitted by this isotope (1.47 MeV) allows us to investigate deeper layers of materials. The isotope has a half-life of 47 years, which ensures a long lifetime of this positron source. The β^+ decay process of this isotope has presented below:

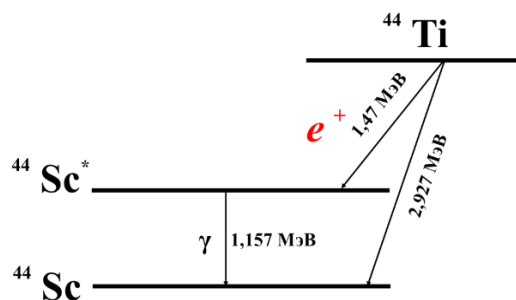


Figure 1. Isotope $^{44}_{22}\text{Ti}$ decay process β^+

The nucleus returns to the ground state in a very short time, emitting one γ -quantum. This nuclear γ -quantum called secondary and used in the technology of positron lifetime for recording the moment of positron production [3]. The main characteristics of the ^{44}Ti positron source presented in Table 2.

Table 2 - Characteristics of the source of positrons ^{44}Ti [9].

Radionuclide	Titanium -44
Activity	24.5 μCi (0.91 MBq)
Half life	60 years
Content of radioactive impurities	$\leq 0,1 \%$
Contamination of the surface with radioactive substances	Does not exceed 4.1 Bq
Capsule and exit window material	Ti, Ti (brand VT1-0)
The main gamma-ray energies, keV (quantum yield, %)	67,8679 (93,0) 78,36 (96,4)

2. Stages of positron life in the material

Since a positron is an antiparticle of an electron, it is unstable in matter. After getting into the substance, the positron lifetime have be divided into three stages: thermalization, diffusion and localization. The process of thermalization occurs in a very short period in comparison with the lifetime of positrons. The thermalization

time is 3-4 ps. After this, the motion of the positron expressed in the form of diffusion. Finally, the positron localized, after which the life of the positron comes to the end when annihilating with an electron. When a positron and an electron interact through a head-on collision, they annihilate, converting their total mass into the energy of annihilation gamma quanta, according to the Einstein equation. The total amount of energy released during electron-positron annihilation is 1,022 MeV, which corresponds to the energies of the combined rest mass. Most often, annihilation proceeds with the formation of two gamma quanta, and each of them has an energy of 511 keV in most cases. The process obeys some general conservation laws, such as the conservation of energy and momentum [7].

3. Setting for layer analysis

Our detectors can register signals from any direction, that is, signals that annihilate in any layers, detectors will still receive. Therefore, we cannot obtain information for the specific layers from the spectra.

In order to do layer-by-layer analysis with electron-positron annihilation methods, it is necessary to develop an installation from which the location from where the detected signals are emitted. This was partially resolved with the advent of accelerator complexes with sources of monoenergetic positrons, which make it possible to conduct material studies using the PA methods at different depths. Despite the high efficiency and good depth resolution, these complexes have one important limitation: the maximum thickness of the test layer does not exceed 3-4 μm for most materials. Thus, these complexes can study only the near-surface layers of the material.

The approach proposed in this project will allow for layer analysis of the defect structure in metallic materials up to a few hundred microns thick and in polymers and porous materials - up to 5-10 mm.

Considering that heavy metal can block signals that we do not need, we used a slot created from heavy metal as a tool for layer analysis by the methods of EPA. Article [11] proposes the idea, in which signals been filtered by means of a

collimator slit (Slit width $100\ \mu\text{m}$). Considering this idea, we implemented a unit for layer analysis. The slit drawing has shown in Figure 6.

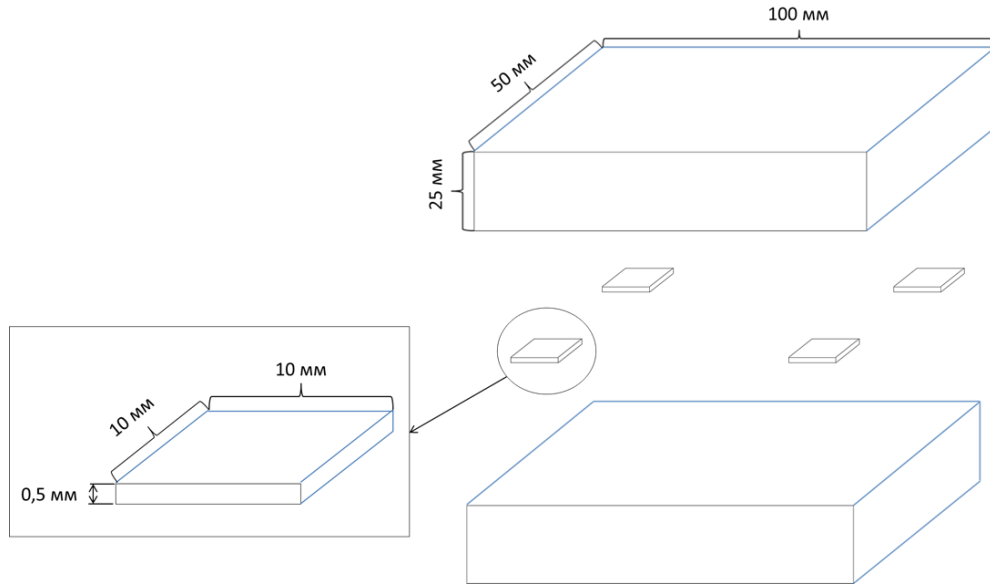


Figure 6. Drawing slit installation.

The layout of the installation for layer analysis is shown in Figure 7.

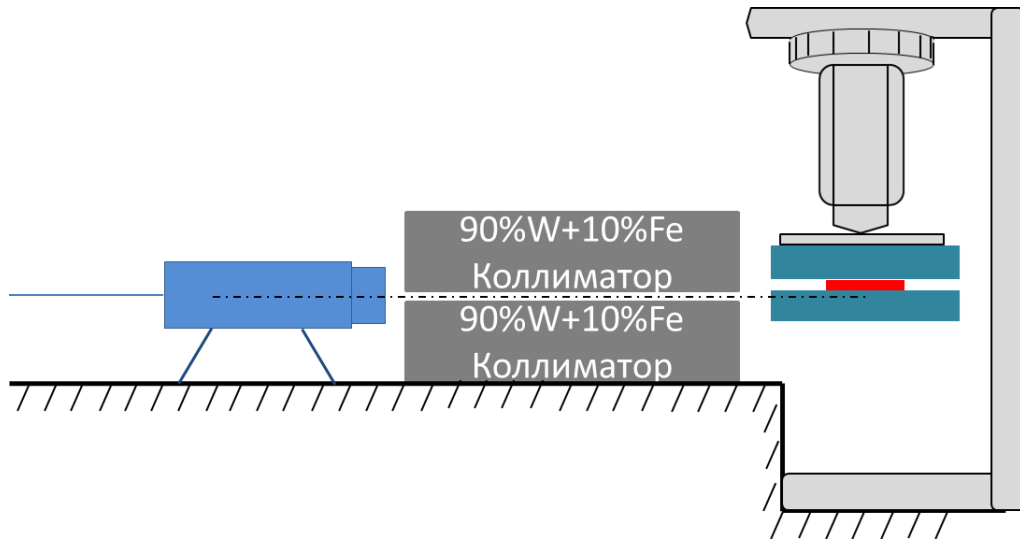


Figure 7. Schematic of the installation for layer analysis.

Two lead blocks are placed in parallel, and 4 foils with a thickness of $50\ \mu\text{m}$ are placed between the two lead blocks to create a slot through which the detector screens the signals. It is clearly to see from the figure that positrons enter the sample, then annihilate in the samples, and produce gamma quanta. Lead blocks

stop gamma rays emitted from other directions, and only gamma quanta that go through the gap can register in the detector. With the help of micrometer, got the possible to determine the depth, from which gamma rays emitted, as well as the location of positron annihilation. Therefore, we can obtain information on annihilation characteristics in different depths that we need. From these characteristics, give the possible to do layer-by-layer analysis of the defective structure.

The ideal resolution of the installation is equal to the width of the gap - 50 μm . However, because the samples and the source have thickness and the distance between the sample and the slots is not zero, you need to measure the actual resolution of the setup for the experiments.

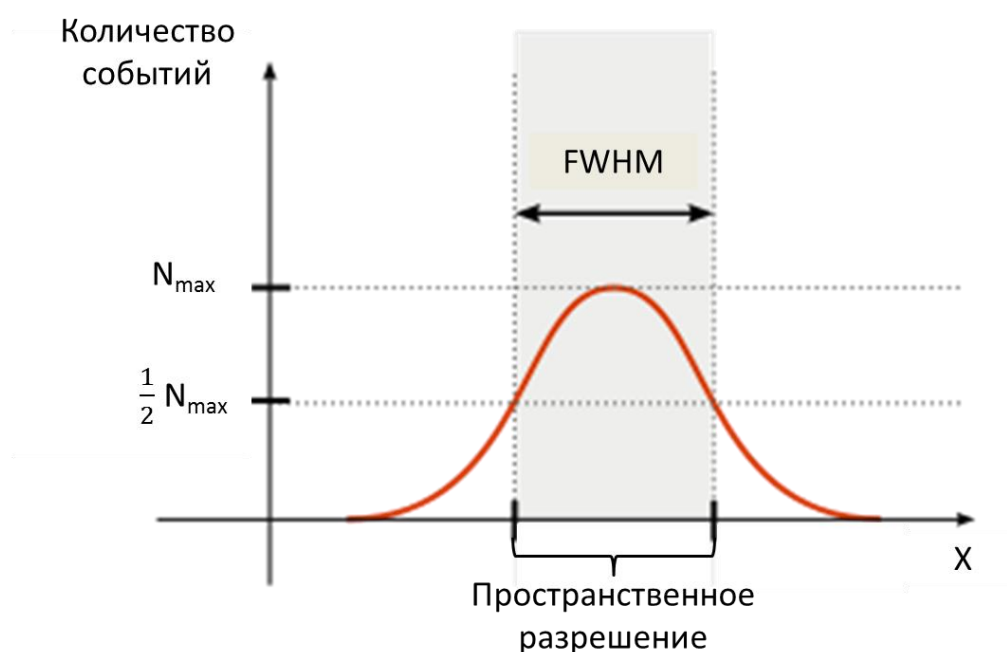


Figure 8. Total width at half height

As a graph, shown in Figure 8, the result should be in accordance with the Gaussian distribution. In order to obtain the resolution of the installation, it is necessary to calculate the total width at half the height of the spatial distribution in the peak. This value characterizes the spatial properties of the installation systems.

With this setup, it is possible to do layer-by-layer analysis by all methods of electron-positron annihilation, for example, by positron lifetime spectrometry and

by the Doppler broadening of the annihilation line. Lonely, the installation will block useless signals, this leads to a strong increase in the time of dialing the spectra. In comparison with normal circumstances, the measurement time will increase, at least, by an order of magnitude. In our laboratory, the spectrometry of Doppler broadening of the annihilation line dials one spectrum for about 2 days, and the positron lifetime spectrometry collects one spectrum in a few weeks. Therefore, under the current conditions, only the method of spectrometry of Doppler broadening of the annihilation line is realistic.

List of references

1. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/543878/>, свободный. – Загл. с экрана;
2. А. А. Шмаков, Водородное охрупчивание и гидридное разрушение циркониевых изделий водоохлаждаемых ЯЭУ// 01. 04. 07 – Физика конденсированного состояния. – 2006. 70:07-1/251;
3. Бордулев Ю. С. Реализация и применение методов электрон-позитронной аннигиляции для исследования дефектной структуры материалов// - Физико-технический институт, Томский политехнический университет, Томск, 2013;
4. Шмаков А.А. Водородное охрупчивание и гидридное разрушение циркониевых изделий водоохлаждаемых ЯЭУ: Автореф. диссертация... д-ра физ.-мат. наук. – Москва, 2007. – 164 с;
5. E. Dryzek: J. Mat. Science 38, 3755 (2003);
6. J.Dryzek, E.Dryzek, T. Stegemann, B. Cleff: Tribology Lett. 3, 269 (1997);
7. Тэн Минкан, Шен Дэсинь. Позитронной спектроскопии аннигиляции и его применение//Атомная энергетика Пресс.-2000;
8. M. J. Puska, R. M. Nieminen, J. Phys. F: Met. Phys. 13, 333-1983;
9. R. A. Sharp, R. M. Diamond, A new titanium nuclide: Ti^{44} , Phys. Rev. 93, 358, 1954;

10. Krause-Rehberg R., Leipner H.S. Positron Annihilation in Semiconductors /Springer-Verlag. – Berlin, 1999. – 378;
11. Dryzek J. Defect depth scanning over the positron implantation profile in aluminum //Applied Physics A. – 2005. – A 81. – C. 1099–1104.