

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Отделение контроля и диагностики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Радиационно-стимулированный отжиг гамма-квантами светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs подвергнутых воздействию эксплуатационных факторов</b> УДК <u>621.785.3:621.383.52:620.19</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ББА	Даширабданова Арюна Саяновна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Градобоев А.В.	Д.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев М.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	К.Т.Н.		

*Планируемые результаты освоения*

<b>Код</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон</b>
<i>Общекультурные и общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>P1</b>	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	Требования ФГОС (ОК-1,2,6,ОПК-4,ОПК-8) Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P2</b>	Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, ОПК-1, 3, 10) Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P3</b>	Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде и в обществе, в т.ч. на иностранном языке	Требования ФГОС (ОК-5, 6, ОПК-8, ПК-17) Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P4</b>	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7, 8, 9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P5</b>	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС (ОПК-2, 5-9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>P6</b>	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	Требования ФГОС (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P7</b>	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	Требования ФГОС (ПК-1-6, 8) Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P8</b>	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	Требования ФГОС (ПК-8-18) Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>P9</b>	Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики	Требования ФГОС (ПК-7, 19-23) Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) Мойзес Б.Б.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**Бакалаврской работы**

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6А	Даширабданова Арюна Саяновна

Тема работы:

Радиационно-стимулированный отжиг гамма-квантами светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs подвергнутых воздействию эксплуатационных факторов

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования являются светодиоды на основе гетероструктуры AlGaAs. Цель работы – изучение влияния радиационно-стимулированного отжига гамма квантами на светодиоды, подвергнутые воздействию эксплуатационных факторов

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>– Анализ литературных источников по радиационно-стимулированному отжигу светодиодов на основе AlGaAs инфракрасного диапазона; Изучение влияния ступенчатых испытаний и гамма квантов на электрические свойства светодиодов;</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>– Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Градобоев Александр Васильевич	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6А	Даширабданова Арюна Саяновна		

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

Студенту:

<b>Группа</b> 1Б6А	<b>ФИО</b> Даширабданова Арюна Саяновна
-----------------------	--

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>Отделение контроля и диагностики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	12.03.01 «Приборостроение»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %. (НК РФ)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ. SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Определение: интегрального финансового показателя; интегрального показателя ресурсоэффективности; интегрального показателя эффективности.

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

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b> 1Б6А	<b>ФИО</b> Даширабданова Арюна Саяновна	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
-----------------------	--	----------------	-------------

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б6А	Даширабдановой Арюне Саяновной

<b>Школа</b>	<b>Школа неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение (ОКД)</b>	<b>Отделение контроля и диагностики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление</b>	12.03.01 «Приборостроение»

**Тема ВКР:** Радиационно-стимулированный отжиг гамма-квантами светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs подвергнутых воздействию эксплуатационных факторов

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>Объектом исследования является радиационно-стимулированный отжиг гамма-квантами светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs подвергнутых воздействию эксплуатационных факторов.</p> <p>Рабочими зонами являются: отделение контроля и диагностики ТПУ (18 корпус, учебная лаборатория 412); АО «НИИПП» (лаборатория специальных испытаний к.139).</p>
--	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b></p>	<p>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– проанализировать выявленные опасные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– разработать мероприятия по снижению возможных вредных и опасных факторов;</li> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– неудовлетворительное освещение;</li> <li>– неудовлетворительный микроклимат;</li> <li>– повышенный уровень напряженности электростатического поля, электромагнитных полей</li> <li>– ионизирующие излучение (ИИ);</li> <li>– электробезопасность</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ влияния объекта исследования на окружающую среду;</li> <li>– анализ влияния процесса исследования на окружающую среду</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС – пожар;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий;</li> <li>– Пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6А	Даширабданова Арюна		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
 Уровень образования бакалавриат  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2020 г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.11.2019	Обзор источников информации	20
25.11.2019	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
20.12.2019	Проведение инженерных расчетов, разработка конструкции объекта	20
11.02.2020	Разработка плана эксперимента и его проведение экспериментов	20
29.03.2020	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
02.05.2020 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
05.06.2020 г.	Оформление ВКР и презентационных материалов	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Градобоев А.В.	д.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 12.03.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 21 рисунок, 26 таблиц, 18 формул, 41 источник.

Ключевые слова: светодиод, гетероструктура, светодиод на основе AlGaAs (арсенид алюминия-галлия), ступенчатые испытания, ионизирующее излучение, и т.д.

Объектами исследования являются AlGaAs светодиоды инфракрасного диапазона.

Цель работы – изучение влияния радиационно-стимулированного отжига гамма-квантами на светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs после ступенчатых испытаний.

В процессе выполнения данной работы был проделан теоретический анализ светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs, в том числе анализ их конструктивных особенностей, а также основных характеристик и параметров. Было изучено понятие ступенчатых испытаний, рассмотрено их влияние на светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs. Затем исследовано влияние радиационно-стимулированного отжига гамма-квантами на данные светодиоды. Выполнен комплекс экспериментальных измерений вольт-амперных характеристик светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs после ступенчатых испытаний и после дальнейшего радиационно-стимулированного отжига. Проведена графическая работа, сделаны чертежи и построены графики.

Ранее отсутствовали сведения о влиянии радиационно-стимулированного отжига гамма-квантами на светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs после ступенчатых испытаний. Поэтому исследования, проведенные в данной работе, являются актуальными, а это свидетельствует о перспективном развитии и полезности данной работы.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

**р-п-переход:** область пространства на стыке двух полупроводников р- и п-типа, в которой происходит переход от одного типа проводимости к другому, такой переход ещё называют электронно-дырочным переходом [1].

**полупроводниковые приборы:** это электронные приборы, действие которых основано на электронных процессах в полупроводниках. Основой полупроводниковых приборов являются электронно-дырочные переходы – область на границе между полупроводниками с р- и п-проводимостью [2].

**полупроводниковый диод:** это двухэлектродный прибор, основу которого составляет р-п-переход [3].

**ионизирующее излучение:** это вид энергии, высвобождаемой атомами в форме электромагнитных волн или частиц. [4]

**изотоп:** атом химического элемента, отличающийся от другого атома того же элемента атомным весом [4].

**нуклид:** это любое атомное ядро с заданным числом протонов  $Z$  и нуклонов  $A$  (массовое число). Обозначается символом химического элемента с индексами:  $A$  – слева наверху,  $Z$  – слева внизу, число нейтронов  $N=A - Z$  [2].

**радионуклид:** (радиоактивный нуклид) нуклид, ядро которого способно к радиоактивному распаду [4].

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

AlGaAs светодиод – светодиод на основе арсенида алюминия-галлия;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

ВтАХ – ватт-амперная характеристика;

ИИ – ионизирующее излучение;

ИК – инфракрасный;

ОКУТ – объемные каналы утечки тока

ВТ – высокие токи

НТ – низкие токи;

НТИ – научно-техническое исследование;

ОК – объект контроля;

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

СД – светодиод;

ТУ – технические условия;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЭМИ – электромагнитное излучение;

ЭМП – электромагнитное поле;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

## Оглавление

Введение .....	15
Цели и задачи .....	16
1 Общие сведения о светодиодах .....	16
1.1 Технология изготовления светодиодов .....	16
1.1.1 Полупроводниковые материалы для светодиодов .....	17
1.1.2 Светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs .....	17
1.2 Конструкция светодиодов .....	18
1.3 Основные параметры и электрические характеристики светодиодов .....	20
1.4 Надежность светодиодов .....	21
1.4.1 Ускоренные испытания светодиодов .....	22
1.5 Радиационно-стимулированный отжиг светодиодов .....	23
2 Практическая часть .....	24
2.1 Объекты исследований .....	24
2.2 Методика исследования .....	25
2.3 Используемое оборудование .....	26
2.3.1 Стенд для ступенчатых испытаний .....	26
2.3.2 Гамма-установка «Исследователь» .....	29
2.3.3 Установка для измерения характеристик «ПОЛИ-500» .....	32
2.4 Характеристики исходных светодиодов .....	36
2.5 Анализ характеристик светодиодов после ступенчатых испытаний .....	39
2.6 Влияние облучения гамма-квантами на светодиоды после ступенчатых испытаний .....	40
Основные выводы по разделу 2 .....	42

3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	44
3.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.....	44
3.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	44
3.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	45
3.1.3	SWOT-анализ.....	46
3.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	48
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	48
3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	49
3.2.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	50
3.2.4	Бюджет научно-технического исследования .....	52
3.2.4.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования .....	52
3.2.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	53
3.2.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	56
3.2.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	57
3.2.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	58
3.2.4.6	Контрагентные расходы .....	59
3.2.4.7	Накладные расходы .....	59
3.2.4.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	59
3.3	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	60
4	Социальная ответственность .....	63
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	63
4.1.1	Организационные мероприятия.....	63
4.1.2	Организация рабочей зоны инженера разработчика .....	64

4.2 Производственная безопасность .....	65
4.2.1 Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производительной среды .....	65
4.2.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	66
4.2.2.1 Повышенный уровень напряженности электростатического поля, электромагнитных полей .....	66
4.2.2.2 Электробезопасность при работе с компьютером и установкой «ПОЛИ-500».....	67
4.2.2.3 Освещение.....	69
4.2.2.4 Шум.....	70
4.2.2.5 Микроклимат .....	70
4.2.2.6 Повышенный уровень ионизирующего излучения .....	71
4.3 Экологическая безопасность. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	72
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	73
4.4.1 Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций .....	73
4.4.2 Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций .....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	77

## Введение

На данный момент, светодиоды (далее СД) инфракрасного диапазона длин волн на основе двойных гетероструктур AlGaAs широко используются во всех сферах науки и техники. Как правило, в качестве основы для множества устройств микроэлектроники, а значит СД можно отнести к полупроводниковым приборам, эксплуатируемым во всевозможных условиях. К настоящему времени имеется множество монографий, в которых довольно подробно рассказывается о данных СД, включая технология производства и конструкцию, основные параметры и характеристики, а также систематизированы результаты исследования их потребительских свойств [5-8].

Подчеркнем, что многообразие устройств на основе СД очень часто эксплуатируются в жестких условиях [9-12]. Например, в условиях космического пространства и на ядерных энергетических объектах. При этом в космической, военной и атомных промышленности особое внимание уделяется проблемам их надежности и радиационной стойкости. В условиях космического пространства и на ядерных энергетических объектах они подвергаются воздействию различных видов ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов, вследствие которых мощность СД снижается. Также при этом наблюдаются как параметрические отказы (в основном снижение интенсивности излучения), так и катастрофические отказы. Поэтому возможность восстановления ухудшающихся параметров СД является важным вопросом. Одним из способов восстановления параметров СД, а именно мощности, является радиационно-стимулированный отжиг.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что исследование действия ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов на светотехнические и электрофизические характеристики СД является актуальной задачей.

## **Цели и задачи**

Изучить, как влияет радиационно-стимулированный отжиг гамма квантами на СД, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs, после ступенчатых испытаний.

Основной задачей исследования является изучение возможности восстановления снизившейся после эксплуатации мощности излучения СД, путем проведения радиационно-стимулированного отжига. А также исследование деградации электрофизических характеристик СД при комбинированном (последовательном) воздействии эксплуатационных факторов и облучения гамма-квантами.

## **1 Общие сведения о светодиодах**

**Светодиод** или **светоизлучающий диод** — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении [13].

### **1.1 Технология изготовления светодиодов**

В середине XX в. началось промышленное производство первых светодиодов на основе полупроводниковых материалов типа  $A^{III}B^V$  - арсенида галлия (GaAs), фосфида галлия (GaP) и их твердых растворов. Подобных материалов ранее не существовало, так как они изначально создавались человеком. Соединения типа  $A^{III}B^V$  являются ближайшими электронными аналогами германия и кремния. Они образуются в результате соединения элементов III группы Периодической системы (бора, алюминия,



галлия и индия) с элементами V группы (азотом, фосфором, мышьяком и сурьмой). Висмут и таллий не образуют соединений рассматриваемого ряда.

Все началось с создания монокристаллов GaAs, после этого начались исследования полупроводниковых соединений типа  $A^{III}B^V$ . Монокристаллы разрезались, а получаемые пластины полировались и использовались в качестве подложек для формирования на них методами эпитаксии из жидкой фазы и эпитаксии из газовой фазы полупроводниковых структур с p-n-переходом [14].

### **1.1.1 Полупроводниковые материалы для светодиодов**

На сегодняшний момент основным материалом при изготовлении СД являются гетероструктуры. Гетероструктура – слоистая структура, образованная из различных материалов (к примеру: AlGaAs, AlGaInP, InGaP и т.д.) Использование именно этого материала при производстве СД гарантирует его достойные выходные параметры и эксплуатационные свойства. Исходный полупроводниковый материал во многом является определяющим фактором того, какими параметрами и свойствами будет обладать прибор [15].

При помощи добавления в полупроводниковый материал атомов веществ-примесей можно изменять в некоторых пределах цвет излучения светодиода. Например, на основе фосфида галлия, легированного определенным количеством цинка, кислорода или азота, получают СД зеленого, желтого и красного цветов свечения. Тройное соединение AlGaAs используют для получения СД красного цвета свечения [16].

### **1.1.2 Светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs**

Объектами контроля являются полупроводниковые СД в сборе. Основная задача лежит в исследовании характеристик и параметров СД на

основе гетероструктур AlGaAs. Арсенид алюминия-галлия – тройное соединение мышьяка с трехвалентными алюминием и галлием, переменного состава, состав выражается химической формулой  $Al_xGa_{1-x}As$ . Здесь параметр  $x$  принимает значения от 0 до 1 и показывает относительное количество атомов алюминия и галлия в соединении. Его производят выращиванием на подложках (полупроводниковых пластинах) методом газовой эпитаксии (химического осаждения из газовой фазы путем термического разложения соединений) из разряженной смеси газов. AlGaAs используют в промежуточных слоях полупроводниковых гетероструктур. Он служит для вытеснения электронов в слой чистого арсенида галлия, так как арсенид алюминия-галлия имеет широкую запрещенную зону [17].

## 1.2 Конструкция светодиодов

Светодиоды на основе AlGaAs имеют конструкцию, как и у большинства других светодиодов [7], приведенную на рисунке 1.1.

Наиболее важным элементом является кристалл (поз. 1), расположенный на проводящей подложке. К кристаллу и подложке подводится электрическое напряжение через выводы питания: катод и анод (поз. 3). Кристалл окружен корпусом (поз. 2), предназначенным для защиты (изготовлен из оптического компаунда). Также данный корпус, благодаря определенной кривизне на верхней части, является и линзой, формирующей световой пучок (направленность излучения). Физико-механические характеристики оптического компаунда позволяют получать диоды в полимерной герметизации, устойчивые к жестким климатическим и механическим воздействиям [15].

Таким образом, светодиод является прибором, в котором происходит помимо генерации света еще и его перераспределение в пространстве.

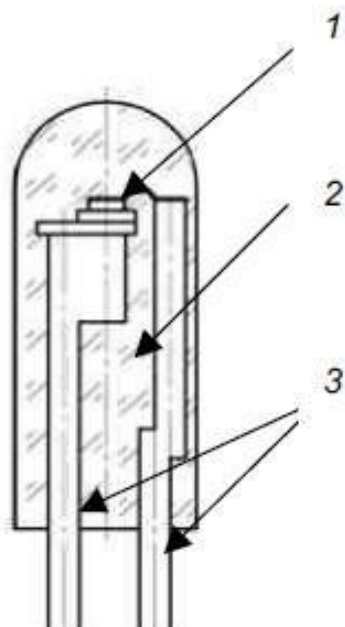


Рисунок 1.1 – Конструкция СД: 1 – полупроводниковый кристалл; 2 – линза и корпус; 3 – выводы питания (катод и анод)

Также стоит заметить, что кристалл присоединен к проводящей подложке при помощи омических контактов (далее ОК). ОК – это контакты, сопротивление которых не зависит от величины и направления тока. Контакты выполнены методом тонкопленочной технологии. Тонкий слой контактного металла обладает большей теплопроводностью и электропроводностью, вызывает более низкие механические напряжения, чем толстый слой. Также позволяет скалывать или вырезать кристалл вместе с контактным металлом. ОК металл – полупроводник является неотъемлемой частью СД. Влияние ОК на радиационную стойкость и надежность СД рассматривается очень редко, хотя было экспериментально доказано, что контакты могут быть очень чувствительны как к различным видам ионизирующего излучения, так и к воздействию эксплуатационных факторов. Это означает, что именно деградации ОК могут с легкостью стать причиной снижения надежности СД [18].

Сами кристаллы обычно имеют размеры поперечного сечения от 0,35 до 0,50 мм. Это связано с тем, что при уменьшении размера возрастает сложность сборки и ускоряется ухудшение оптических характеристик приборов во время работы.

### 1.3 Основные параметры и электрические характеристики светодиодов

Одним из основных параметров СД является: яркость — величина, равная отношению силы света к площади светящейся поверхности (измеряется в канделах на квадратный метр). Спектральная характеристика СД выражает зависимость интенсивности излучения от длины волны излучаемого света и обеспечивает представление о цвете свечения СД. Длина волны излучаемого света устанавливается разностью энергий двух энергетических уровней, между которыми происходит переход электронов на излучательном этапе процесса рекомбинации и определяется исходным полупроводниковым материалом и легирующими примесями.

Рассматривая электрические характеристики полупроводниковых приборов, в первую очередь необходимо упомянуть вольт-амперные характеристики р-п-перехода (рис. 1.2). Вольт-амперная характеристика (далее ВАХ) СД показывает взаимосвязь между приложенным напряжением и током СД [19].

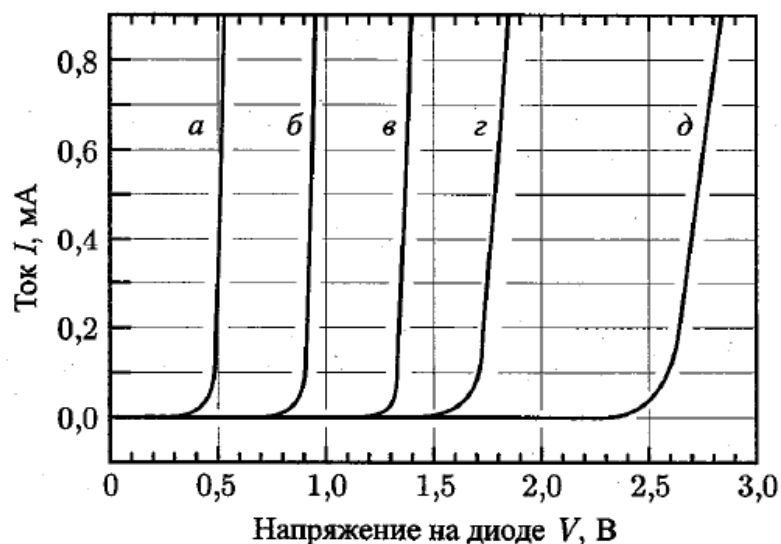


Рисунок 1.2 – ВАХ разных полупроводниковых материалов: а – Ge; б – Si; в – GaAs; г – GaAsP; д – InGaN

В данных ВАХ СД описаны только прямые ветви, без учета обратных. Это связано с тем, что при эксплуатации СД задействована именно прямая ветвь характеристики.

Ватт-амперные (ВтАХ) характеристики описываются зависимостью мощности излучения от тока. Ниже на рисунке 1.3 представлена типичная ветвь ВтАХ СД.

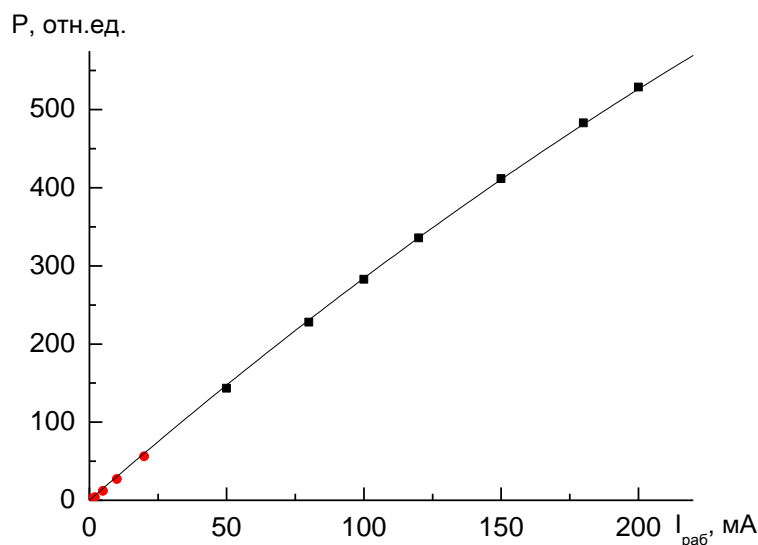


Рисунок 1.3 – Типичная ВтАХ СД

ВтАХ и ВАХ СД зависят от температуры кристалла. С ее повышением мощность излучения может значительно снижаться, как и напряжение.

#### 1.4 Надежность светодиодов

Долговечность СД является одной из его самых важных характеристик. Средний срок службы прибора должен быть не менее 35 000 часов. Критериями отказа изделия в основном являются снижение силы света на 30% и более, изменение таких параметров как ВАХ или цветовой температуры. Полный выход из строя ввиду разрушения также возможен. При такой внушительной предполагаемой долговечности натурные испытания становятся не рентабельными по причине их высокой

продолжительности, а также трудоемкости. Поэтому актуальным становится разработка ускоренных методов испытаний.

Ускоренные испытания позволяют за более короткий срок определить среднее время наработки источника света и сделать достоверный долгосрочный прогноз.

В настоящее время для прогнозирования долговечности изделий полупроводниковой электроники остается практически единственный способ – проведение ускоренных испытаний в условиях более интенсивных нагрузок, при этом процесс старения ускоряется, а деградация параметров происходит так же, как и в обычном режиме работы. Полученные результаты экстраполируют на нормальные условия эксплуатации. Это позволяет за относительно короткий срок изучить период «старения» изделия через взаимосвязь механизмов отказов со временем их проявления.

Необходимой составной частью методов оценки надежности СД является анализ отказов, результаты которого являются эффективным средством повышения уровня производственной и эксплуатационной надежности [20].

#### **1.4.1 Ускоренные испытания**

Одним из эффективных методов получения информации о надежности самых различных изделий являются ускоренные испытания. Ускоренные испытания - испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации об изменении свойств объекта в более короткий срок, чем при эксплуатации в нормальных условиях [21].

Ускоренные испытания бывают сокращенные и форсированные. Сокращенные испытания - испытания, которые проводятся по сокращенной программе без интенсификации процессов, вызывающих отказы или

повреждения. Форсированные испытания, в свою очередь, наоборот основаны на интенсификации данных процессов.

Коэффициент ускорения – это число, показывающее во сколько раз продолжительность ускоренных испытаний меньше продолжительности испытаний, проведенных в нормальных условиях [22].

Испытания проводят в предельно допустимом электрическом режиме, установленном в технических требованиях для испытаний на безотказность под электрической нагрузкой при нормальных условиях и ступенчатом увеличении нагрузки. Параметры измеряют до и после 24-часовой выдержки на каждой ступени нагрузки. Испытания прекращают при получении 50 % отказов или при достижении пятикратной нагрузки [20].

### **1.5 Радиационно-стимулированный отжиг светодиодов**

Под радиационно-стимулированным отжигом СД понимают восстановление СД и его основных характеристик, устранение дефектов и упорядочивание структуры материала с помощью ионизирующего излучения (в данном случае гамма-квантами).

Ионизирующее излучение при взаимодействии с веществом приводит к образованию ионов разных знаков. Разновидностью такого излучения является гамма-излучение. Гамма-излучение представляет собой поток гамма-квантов, обладающих высокой энергией. Характеризуется это излучение крайне малой длиной волны (в пределах  $2 \cdot 10^{-10}$ ).

При малых дозах облучения СД гамма-квантами, структура кристалла перестраивается и это приводит к улучшению его электрофизических свойств, а значит и свойств СД. Происходит перестройка структуры кристалла за счет освобождения запасенной в нем энергии. Такой вывод был сделан в работе [23] и основывается он на том, что уменьшение количества дефектов в кристалле СД сопровождается выделением тепла.

## **2 Практическая часть**

Напомним, что целью работы является исследование возможности радиационно-стимулированного отжига гамма-квантами СД, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs, после длительной эксплуатации.

При этом следует ожидать восстановления мощности излучения СД, которая снизилась после ускоренных испытаний. Таким образом, фактически мы получим сведения о деградации электрофизических характеристик СД при комбинированном (последовательном) воздействии эксплуатационных факторов и облучения гамма-квантами.

### **2.1 Объекты исследований**

Объектом данного исследования являются девять СД ИК-диапазона длин волн на основе гетероструктур AlGaAs после ступенчатых испытаний, которые были проведены ранее в различных температурных и электрических режимах.

Ступенчатые испытания – это испытания, ускоренные во много раз. В процессе данных испытаний форсировали окружающую температуру и рабочий ток СД. При этом от ступени к ступени повышается рабочий ток. Это повышение рабочего тока принято характеризовать шагом ступени. Благодаря ступенчатым испытаниям мы изучаем механизмы деградации СД в реальном времени. Длительность ступени составляла от 24 часов.

В таблице 2.1 представлены данные о режимах ступенчатых испытаний СД.



Таблица 2.1 – Режимы ступенчатых испытаний СД и облучения гамма-квантами

№ п\п	Режим ступенчатых испытаний	Режим облучения
1	Шаг ступени 75 мА, 65 °С, после 7 ступени	Короткое замыкание (КЗ)
2	Шаг 75 мА, 65 °С, после 7 ступени	Обрыв
3	Шаг 75 мА, 65 °С, после 7 ступени	КЗ
4	Шаг 75 мА, 65 °С, после 7 ступени	Обрыв
5	Шаг 50 мА, 85 °С, после 9 ступени	КЗ
6	Шаг 50 мА, 85 °С, после 9 ступени	Обрыв
7	Шаг 50 мА, 70 °С, после 9 ступени	КЗ
8	Шаг 50 мА, 80 °С, после 7 ступени	КЗ
9	Шаг 50 мА, 80 °С, после 7 ступени	Обрыв

## 2.2 Методика проведения исследований

Методика проведения исследований заключается в следующем. На первом этапе рассматриваются типичные основные характеристики СД (прямая ветвь ВАХ и ВТАХ) до ступенчатых испытаний, которые получены путем измерения на установке «ПОЛИ-500».

Затем проводили облучение СД на гамма-установке «Исследователь». Уровень воздействия гамма-квантов характеризовали поглощенной дозой (рад). Осуществляли последовательный набор дозы облучения. После каждого облучения с перерывом не более 2-х часов измеряем ВАХ и ВТАХ исследуемых объектов с помощью установки «ПОЛИ – 500», параллельно отмечая, насколько изменяются значения СД при их облучении гамма - квантами. С каждым облучением мощность и напряжение на СД снижаются, а по графикам ВАХ и ВТАХ видно как деградируют исследуемые приборы. В зависимости от искажения на графиках можно понять причину деградации. Далее была проведена обработка полученных результатов.

Особо отметим, что при облучении гамма-квантами СД находились в различном режиме (см. таблицу 2.1). Режим КЗ, при котором выводы СД были замкнуты, позволяет обеспечить в области пространственного заряда СД разделение электронно-дырочных пар, которые генерируют гамма-кванты. В режиме облучения обрыв - разделения электронно-дырочных пар не происходит.

Ранее в [24-25] было показано, что для многих полупроводниковых приборов внешнее и встроенное электрическое поле оказывает влияние на скорость введения радиационных дефектов. В данной работе и используют различные режимы облучения с целью оценки влияния электрического поля на скорость введения радиационных дефектов.

## **2.3 Используемое оборудование**

### **2.3.1 Стенд для ступенчатых испытаний**

Ступенчатые испытания - это испытания, ускоренные во много раз. Они позволяют получить сведения о деградиационных процессах в реальном времени. В процессе данных испытаний мы форсируем увеличение температуры и электрического поля за счет повышения рабочего тока. Благодаря ступенчатым испытаниям мы изучаем механизмы деградации в реальном времени.

Для проведения испытаний на надежность использовались ускоренные ступенчатые испытания, которые проводились на стандартном сертифицированном стенде для ускоренных испытаний. Принципиальная схема включения приборов представлена на рисунке 2.1. Контроль напряжения в стенде осуществлялся с помощью вольтметра.

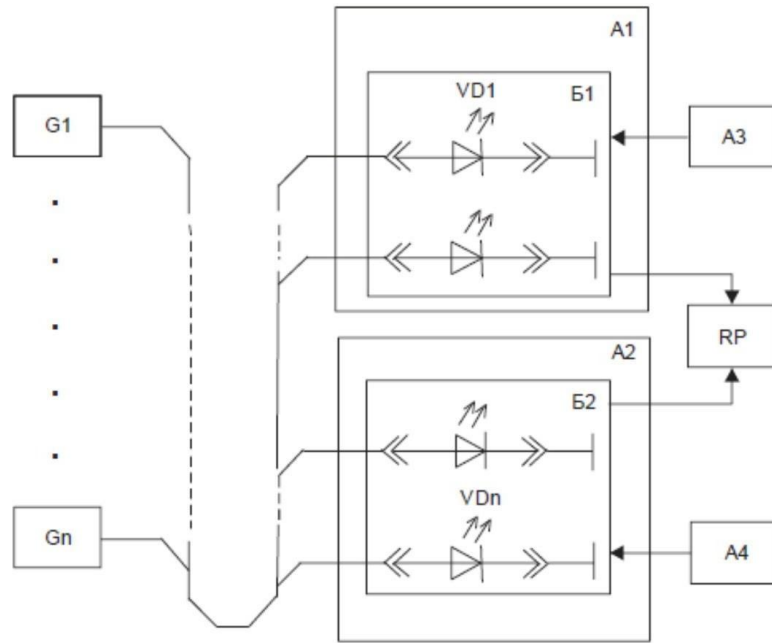


Рисунок 2.1 - Электрическая схема включения СД при ступенчатых испытаниях: А1, А2 – термостат; А3, А4 – регулятор температуры тепловода; Б1, Б2 – тепловод; RP – измеритель температуры; G1, Gn – стабилизаторы тока; VD1-VDn – испытуемые СД

Ступенчатые испытания проводили при температуре окружающей среды  $+45...+85$  °С, шаг ступени при этом составлял  $\Delta I = +25...100$  мА, рабочий ток первой ступени  $I_{оп1} = 50$  мА, длительность ступени составляла от 24 часов. Таким образом, длительность испытаний составляла от 2 недель до 1,5 месяца.

Температура окружающей среды была выбрана таким образом, чтобы верхняя граница не превышала температуру размягчения компаунда, из которого состоит линза и корпус СД.

Каждая ступень характеризовалась как номером  $N_i$ , так и током ступени  $I_{step}$ . Соотношение между данными величинами можно представить следующими формулами:

$$N_i = \frac{I_{опi} - I_{оп1}}{\Delta I} + 1 \quad (2.1)$$

$$I_{\text{опi}} = \Delta I \cdot (N_i - 1) + I_{\text{оп1}} \quad (2.2)$$

В дальнейшем для оценки уровня воздействия факторов длительной эксплуатации, в основном, используется ток ступени [20].

Ниже на рисунке 2.2 представлен внешний вид стенда для ускоренных испытаний, а на рисунке 2.3 расположение СД во время испытаний.

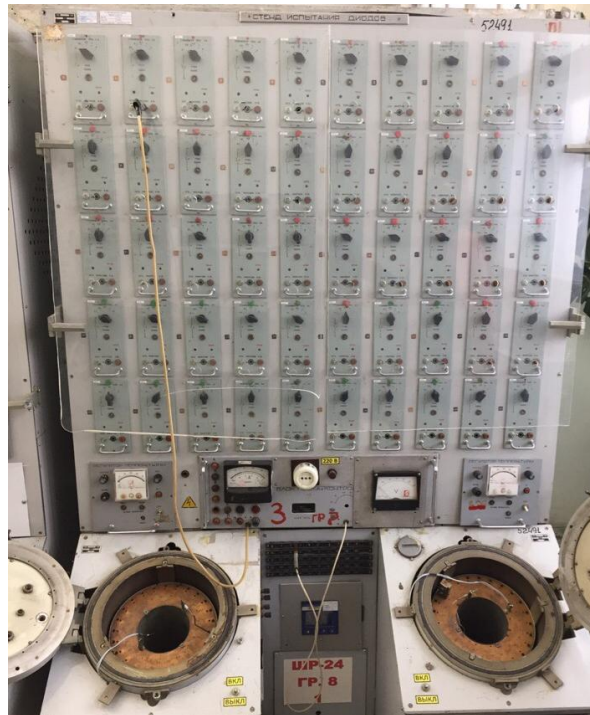


Рисунок 2.2 – Внешний вид стенда для ступенчатых испытаний СД

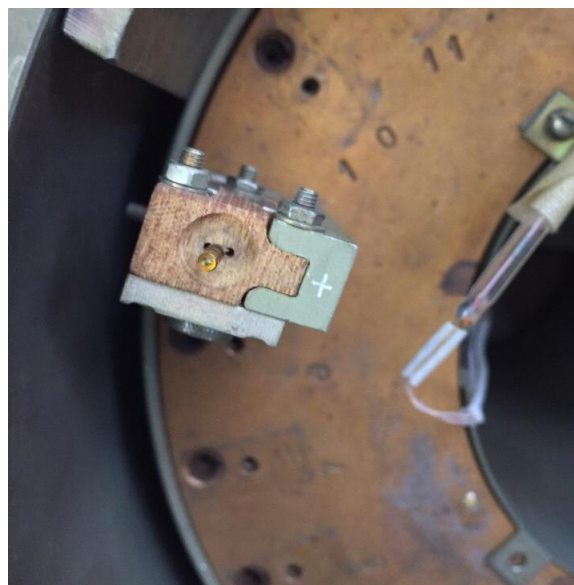


Рисунок 2.3 – Расположение СД во время испытаний

### 2.3.2 Гамма-установка «Исследователь»

Радиационно-стимулированный отжиг будет проходить путем гамма-облучения в специальной установке «Исследователь». Гамма-установка «Исследователь» является радиационно-опасным объектом, эксплуатируемым АО «НИИПП». Данная установка предназначена для проведения радиационных исследований в области радиобиологии, химии, физики твердого тела и медицине.

Конструкция установки обеспечивает надежную противолучевую защиту обслуживающего персонала. Она эксплуатируется аттестованными сотрудниками.

Производственный процесс на установке заключается в проведении облучения различных изделий, разрабатываемых и серийно изготавливаемых предприятием с целью исследования влияния ионизирующего излучения на характеристики и параметры изделий. То есть данная установка является частью технологического процесса разработки, серийного изготовления и испытаний изделий электронной техники различного назначения.

Таблица 2.2 – Общие сведения об установке «Исследователь»

Название	Гамма-установка «Исследователь»
Дата ввода установки в эксплуатацию	1975 (перезапуск 2013г.)
Проектный срок службы установки	Получено решение Минатома России о продлении срока эксплуатации до 2027г.
Назначение установки	Проведение исследований в области радиационной физики.
Сведения о радионуклиде	
Нуклидный состав	Кобальт-60, источник типа ГИК-7-2.
Агрегатное состояние	Твердое
Деятельность (с атомной энергией) осуществляемая на установке	Облучение изделий предприятия

Конструктивно установка выполнена таким образом, что при любой радиационной аварии радиационное воздействие ограничивается помещением, где она размещена. Таким образом, воздействие ионизирующего излучения на население полностью исключено.

На рисунке 2.4 приведена схема данной установки, где цифрами обозначено: 1 – пробка с рабочей камерой, 2 и 9 – механизм подъема, 3 – противолучевой затвор, 4 – воротник, 5 – крышка контейнера, 6 – кассета облучателя, 7 – источник излучения, 8 – корпус контейнера, 10 – шток, 11 – противовес, 12 – станина.

Основная часть установки — цилиндрический облучатель, который представляет собой кассету с источниками излучения Кобальт-60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Кассета состоит из 36 трубчатых ячеек, расположенных по окружности и жестко скрепленных между собой. Объект облучения в специальном контейнере или кассете вместе с пробкой в течение необходимого времени, в зависимости от требуемой дозы, опускают в камеру, где он подвергается воздействию ионизирующего излучения [26-27].

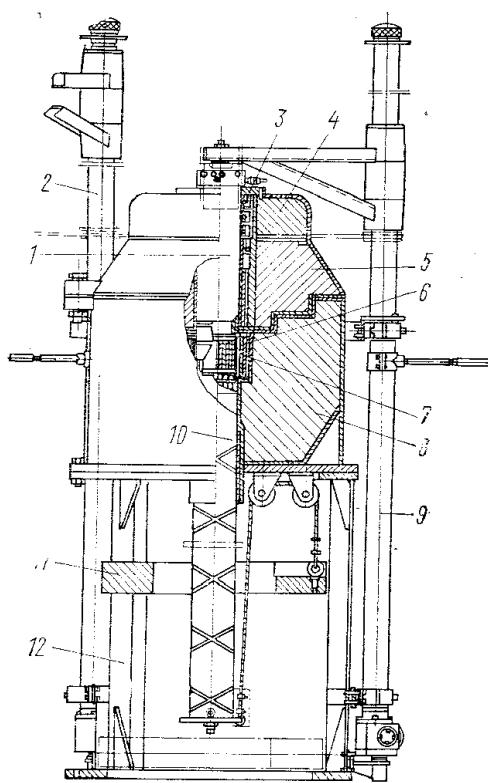


Рисунок 2.4 – Схема гамма-установки «Исследователь»

Источником излучения в гамма-установке «Исследователь» служит Кобальт-60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Кобальт-60 – это радиоактивный нуклид химического элемента кобальта с атомным номером 27 и массовым числом 60. Период полураспада  $T_{1/2}$  равен 5,27 лет. Имеет пик полного поглощения с энергией  $E_\gamma$  1173,21 кэВ и пик вылета с энергией 1332,48 кэВ. Является наиболее долгоживущим изотопом Кобальта, однако в природе встречается крайне редко. Спектр гамма-излучения данного нуклида представлен на рисунке 2.5. Кобальт-60 получают искусственно, подвергая единственный стабильный изотоп кобальта  $^{59}\text{Co}$  бомбардировке нейтронами.

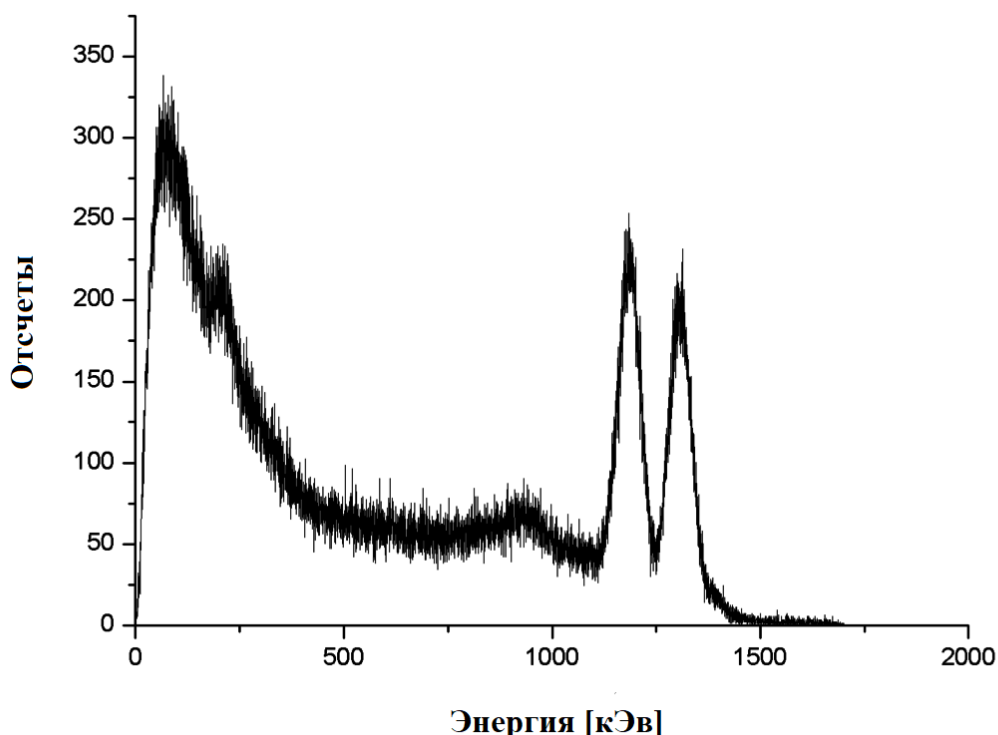


Рисунок 2.5 – Спектр  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$

Уровень воздействия гамма-квантов на исследуемые приборы оценивался дозой облучения. Дозы рассчитывались в специально разработанной таблице в программе Excel «Расчет нужного времени облучения по заданной мощности». Сначала определялось время облучения приборов, а затем оно переводилось в дозу. Доза облучения измеряется в Рад. Рад — внесистемная единица измерения поглощённой дозы ионизирующего

излучения, 1 Рад равен поглощённой дозе излучения, при которой облучённому веществу массой 1 грамм передаётся энергия ионизирующего излучения 100 эрг.

Ниже в таблице 2.3 представлен порядок набора дозы при проведении исследований.

Таблица 2.3 – Необходимые дозы облучения

№ п\п	Изначальная доза D, рад	Требуемая доза D, рад	Суммарная доза D, рад
1	0	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$
2	$1 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$
3	$5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$
4	$7 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
5	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
6	$2 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$
7	$3,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
8	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^6$
9	$6,5 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$7,6 \cdot 10^6$
10	$7,6 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^6$	$1,41 \cdot 10^7$
11	$1,41 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$2,41 \cdot 10^7$
12	$2,41 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^7$	$9,41 \cdot 10^7$

### 2.3.3 Установка для измерения характеристик «ПОЛИ-500»

После до и после облучения кристаллов с них снимаются характеристики при помощи установки «ПОЛИ-500». Данная установка предназначена для измерения падения прямого напряжения на светодиоде и зависимости мощности излучения светодиода от величины прямого тока через него. Используется для исследования параметров светодиодов в лабораторных условиях и при технологическом контроле в процессе их производства.



На рисунке 2.6 приведена структурная схема установки. Основными частями, помимо ПК, являются фотометрический шар и блок измерения (рисунки 2.6, 2.8).

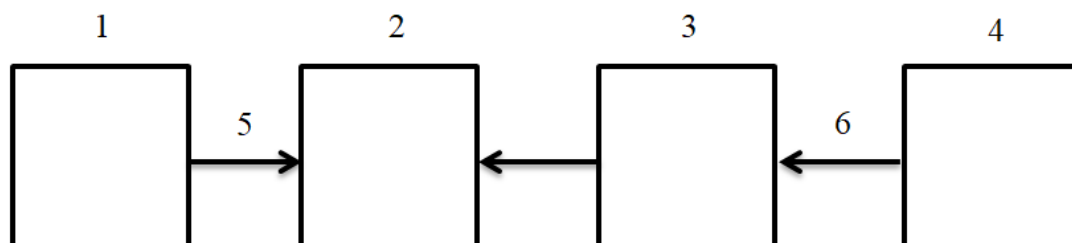


Рисунок 2.6 – Структурная схема установки «ПОЛИ-500»: 1 – Персональный компьютер с необходимым программным обеспечением; 2 – блок измерения; 3 – переходник; 4 – фотометрический шар; 5 – кабель RS232; 6 – кабель

Рассмотрим более подробно блок измерения установки «ПОЛИ-500» (рисунок 3.3, поз.2). На рисунке 3.4 представлена передняя панель измерительного устройства. Указанные на рисунке элементы приведены в подписи к рисунку 2.7

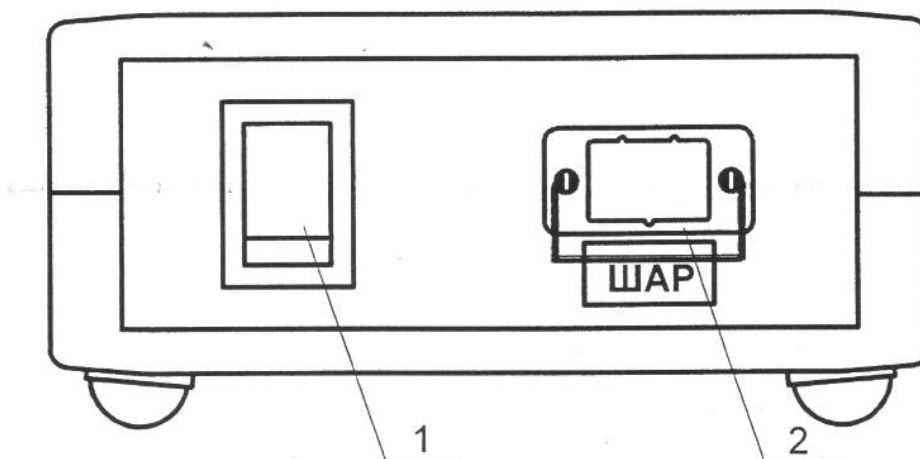


Рисунок 2.7 – Внешний вид передней панели: 1 – сетевой выключатель; 2 – разъем подключения фотометрического шара

На рисунке 2.8 приведена задняя панель с указанием элементов, которые на ней присутствуют.

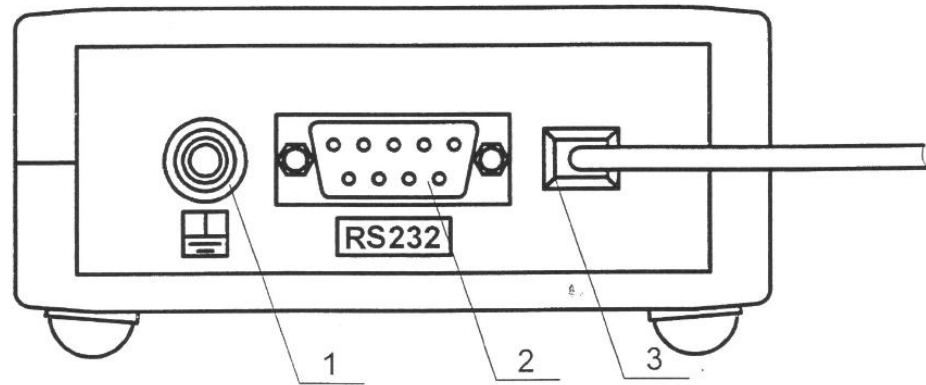


Рисунок 2.8 – Внешний вид задней панели: 1 – гнездо для подключения заземления; 2 – гнездо для подключения кабеля связи с ПК; 3 – сетевой шнур

На рисунке 2.9 представлена фотография фотометрического шара с необходимыми пояснениями.

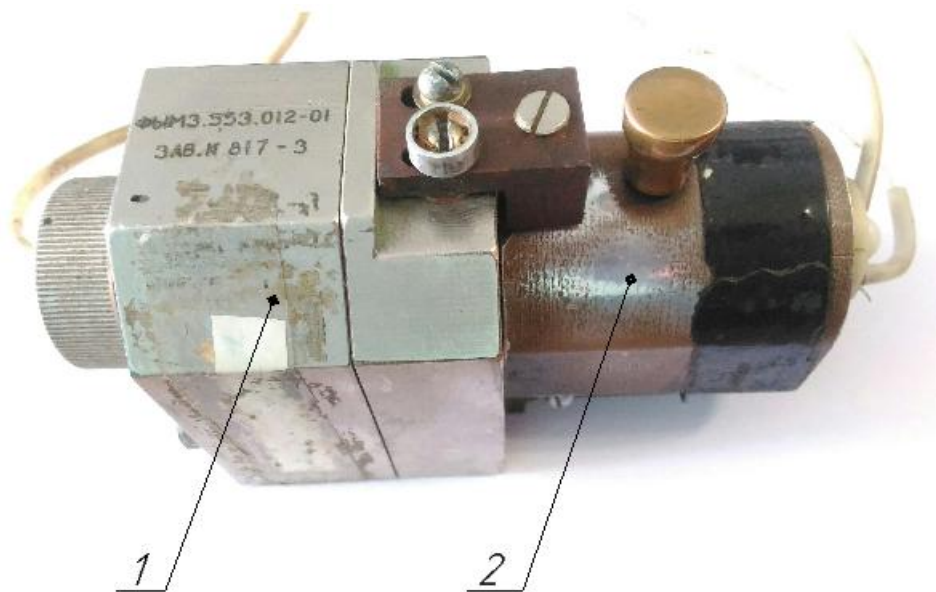


Рисунок 2.9 – Фотография фотометрического шара: 1 – Корпус с расположением фотодиода; 2 – Гнездо установки СД

В фотометрический шар устанавливается контролируемый светодиод в корпус (поз. 2), к которому подается напряжение, а затем мощность, излучаемая ОК, передается на фотодиод (поз.1), установленный напротив. Фотография фотодиода представлена на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Фотография фотодиода

Сигнал передается на блок измерения, где обрабатывается и передается в ПО ПК. Характеристики установки приведены в таблице 2.4. [28-29].

Таблица 2.4 – Основные характеристики установки «ПОЛИ-500»

Название	Значение
Задание прямого тока светодиода, мА	0 – 500
Шаг, мА	1
Погрешность задания прямого тока от установленного уровня, %	±3
Измерение падения прямого напряжения на светодиоде, В	0 – 5
Погрешность измерения напряжения на светодиоде, %	±2
Погрешность измерения тока светодиода, %	±2
Погрешность выдаваемого напряжения питания фотоприемника, %	±3
Средний срок службы установки не менее	5 лет

Установка предназначена для эксплуатации в помещении со следующими условиями:

- а) температура окружающего воздуха от 15 до 35 °С;
- б) относительная влажность воздуха не более 80%;
- в) атмосферное давление от 84 до 106 кПа.

Питание установки осуществляется от сети переменного тока частоты 50 Гц напряжением 220 В.

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

#### **3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований**

##### **Введение**

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – изучить, как влияет радиационно-стимулированный отжиг гамма квантами на светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs, после ступенчатых испытаний.

##### **3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Данные исследования своего рода уникальны, а важность их очевидна, так как изучение радиационно-стимулированного отжига гамма-

квантами светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs после ступенчатых испытаний позволит добиться улучшений в данных объектах, а, следовательно, и во всех приборах и аппаратах, где светодиоды используются.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Главными конкурентами по данному исследованию являются лаборатории при производителях СД и отдельные исследователи. Возьмем лабораторию крупного производителя полупроводниковых приборов «Osram Opto Semiconductors» (К1) и, как малых, самостоятельных исследователей светодиодов Петровых и Васильева (К2) [31]. АО «НИИПП», на базе которой проводились данные исследования, – это средний производитель.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>Ф</sub>	Б <sub>К1</sub>	Б <sub>К2</sub>	К <sub>Ф</sub>	К <sub>К1</sub>	К <sub>К2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,20	8	7	9	1,60	1,40	1,80
2.Надежность	0,25	9	7	8	2,25	1,75	2,00
3.Безопасность	0,25	7	7	8	1,75	1,75	2,00
4.Качество ПО	0,15	6	8	3	0,90	1,20	0,45
5.Срок эксплуатации	0,15	8	5	7	1,20	0,75	1,05
Сумма технических критериев оценки ресурсоэффективности:					7,70	6,85	7,30

Продолжение таблицы 3.1

Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,15	8	9	6	1,20	1,35	0,90
2.Уровень проникновения на рынок	0,10	8	9	5	0,80	0,90	0,50
3.Цена	0,25	9	9	8	2,25	2,25	2,00
4.Срок выхода на рынок	0,10	8	6	5	0,80	0,60	0,50
5.Финансирование научной разработки	0,20	9	9	7	1,80	1,80	1,40
6.Послепродажное обслуживание	0,20	7	7	8	1,40	1,40	1,60
Сумма экономических критериев оценки эффективности:					8,25	8,30	6,90

Рассчитаем анализ конкурентных технических решений по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Как видно из результатов таблицы, ресурсоэффективность исследования выше, чем у изученных конкурентов – большого и малого производителя. Однако по экономическому критерию оценки эффективности уступает крупному производителю.

### 3.1.3 SWOT-анализ

В данном разделе необходимо рассмотреть SWOT-анализ НТИ, который позволяет оценить факторы, влияющие на продвижение проекта на рынок. В таблице 3.2 описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены

возможности и угрозы реализации НТИ, которые могут появиться в его внешней среде.

Таблица 3.2 – SWOT-анализ НИР

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Методика исследования материалов в данной работе является эффективной;	В1. Простая адаптация научного исследования под иностранные языки; В2. Большой потенциал применения исследования в России и других странах;
С2. Метод, описанный в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;	
С3. Полезность данного исследования для многих областей развития;	
С4. Актуальность исследования;	
С5. Наличие опытного руководителя.	
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Отсутствие полноценного финансирования данного исследования;	У1. Отсутствие спроса на проведение данных исследований.
Сл2. Малое количество исследований по данной области.	

Далее выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 3.3 – Сильные стороны проекта

Возможности проекта	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	0	+	+	+
В2	+	+	+	-	0

При анализе данной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С1С3С4С5, В2С1С2С3.

Таблица 3.4 – слабые стороны проекта

Возможности проекта	Сл1	Сл2
В1	0	-
В2	0	0



Таблица 3.5 – сильные стороны проекта

Угрозы	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	0	0	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы, можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угрозы: У1С1.

Таблица 3.6 – слабые стороны проекта

Возможности проекта	Сл1	Сл2
У1	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить, что коррелирующих слабых сторон нет.

Итак, самой большой угрозой для проекта является отсутствие спроса, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку аналогов данным исследованиям нет.

Таким образом, результаты НТИ актуальны для предприятий, заинтересованных в повышении срока службы приборов, где СД задействованы.

## 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Работу выполняло 2 человека: Градобоев А.В. – руководитель (Р), Даширабданова А.С. – инженер (И).

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в (таблице 3.7):

Таблица 3.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель Инженер

### Продолжение таблицы 3.7

Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Радиационно-стимулированный отжиг гамма-квантами светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs после ступенчатых испытаний	Инженер
	3	Выбор образцов для исследования	Руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведения экспериментов	Руководитель Инженер
	6	Обработка полученных данных	Инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Инженер
	8	Оценка эффективности результатов	Руководитель Инженер
Оформление отчета НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5}, \quad (3.2)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для выполнения перечисленных в таблице 3.7 работ требуются специалисты: инженер (И), руководитель (Р).

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i}, \quad (3.3)$$

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

$t_{ож i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.5)$$

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.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности следовательно, рассчитывается по формуле (3.5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ  $T_k$  нужно округлить до целых чисел. Результаты расчетов приведены в (таблице 3.8).

Таблица 3.8 – Временные показатели проведения научного исследования

Работы	Трудоёмкость работ						Исп-тели	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$		
	$t_{\min}$ чел-дни		$t_{\max}$ чел-дни		$t_{\text{тожд}}$ чел-дни			Р	И	Р	И	
	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И
1	1	0	3	0	2	0	1	1	2	0	3	0
2	3	7	8	7	5	6	1	1	3	3	4	4
3	2	2	4	6	4	2	1	1	2	1	1	1
4	0	7	0	12	0	10	0	1	0	10	0	12
5	0	7	0	14	0	12	0	1	0	12	0	15
6	0	10	0	24	0	13	0	1	0	13	0	16
7	4	12	6	20	4	19	1	1	2	10	3	12
8	0	1	0	8	0	5	0	1	0	5	0	6
9	0	7	0	5	0	3	0	1	0	3	0	4
Итого	10	53	21	96	15	70	4	9	9	57	11	70

На основании (таблицы 3.8) строится календарный план-график (таблица 3.9):

Таблица 3.9 – Календарный график проведения НИР

Эт ап	$T_{ki}$		Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
	Р	И	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	3	0	■														
2	4	4		■	■												
3	1	1			■												
4	0	12				■	■	■									
5	0	15							■	■	■						
6	0	16										■	■	■			
7	3	12											■	■	■	■	
8	0	6														■	■
9	0	4															■

■ – Руководитель, ■ – Инженер, ■ – Совместная работа

### 3.2.4 Бюджет научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям: материальные затраты НТИ, затраты на специальное оборудование для научных работ, основная заработная плата исполнителей темы, дополнительная заработная плата исполнителей темы, отчисления во внебюджетные фонды, затраты научные и производственные командировки; контрагентные расходы, накладные расходы.

#### 3.2.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}, \quad (3.6)$$

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

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг., руб./м., руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

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

Материальные затраты представлены в (таблице 3.10).

Таблица 3.10 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Светодиоды	9	5	45
<b>Итого</b>			<b>45</b>

### 3.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Результаты расчетов представлены в таблицах 3.11 и 3.12.

Для проведения научно-исследовательской работы требуется: Гамма-установка «Исследователь», измеритель характеристик «ПОЛИ-500», оснастка для «ПОЛИ-500», Ноутбук «Acer aspire E5-575».

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

а) Гамма-установка «Исследователь», – по пятой группе (оборудование испытательное): 44 года.

б) Измеритель характеристик «ПОЛИ-500», – по пятой группе (оборудование испытательное): 5 лет.

в) Оснастка для «ПОЛИ-500», – по пятой группе (оборудование испытательное): 5 лет.

г) Ноутбук «Acer aspire E5-575» - по третьей группе (техника электронно- вычислительная): 4 года.

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Таблица 3.11 – Расчет затрат на использование спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования, шт.	Время полезного использования, лет	Срок службы, лет	Цена за ед. тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Гамма-установка «Исследователь»	1	44	52	20 000	20 000
Измеритель характеристик «ПОЛИ-500»	1	5	40	100	100
Оснастка для «ПОЛИ-500»	1	1	10	80	80
Ноутбук «Acer aspire E5-575»	1	4	15	40	40
<b>Итого</b>					<b>20220 тыс. руб.</b>

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3.7)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (3.8)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для гамма-установки «Исследователь», с учётом, что срок полезного использования 44 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{44} = 0,02.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Гамма-установка «Исследователь»:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,02 \cdot 20000000}{12} \cdot 2 = 66667 \text{ руб.}$$

Измеритель характеристик «ПОЛИ-500»:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 100000}{12} \cdot 2 = 3333 \text{ руб.}$$

Оснастка для «ПОЛИ-500»:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{1 \cdot 80000}{12} \cdot 2 = 13333 \text{ руб.}$$

Ноутбук «Acer aspire E5-575»:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,25 \cdot 40000}{12} \cdot 2 = 1667 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 66667 + 3333 + 13333 + 1667 = 85000 \text{ руб.}$$



### 3.2.4.3 Основная заработная плата исполнительной темы

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (3.9):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (3.9)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (3.10):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (3.10)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 56 раб. дня  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная неделя; при отпуске в 28 раб. дня  $M = 11,5$  месяца, 6-дневная неделя.

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
выходные дни	44	48
праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
отпуск	56	28
невыходы по болезни	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	274

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле (3.11):

$$Z_M = Z_{mc} \cdot k_p \quad (3.11)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в (таблице 3.13).

Таблица 3.13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб.	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	47 104	1,3	61 235	2 548	11	28 030
Инженер	26 300	1,3	34 190	1 298	70	90 860

#### 3.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (3.12):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (3.12)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Примем коэффициент равный 0,12.

Таблица 3.14 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнители	Основная заработная плата, руб.	$k_{доп}$	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	28 030	0,12	3 363
Инженер	90 860		10 900
<b>Итого</b>			<b>44 530</b>

### 3.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (3.13):

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.13)$$

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

На 2020 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212–ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона № 212–ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2020 году, водится пониженная ставка – 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в (таблице 3.15).

Таблица 3.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	28 030	3 363
Инженер	90 860	10 900
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
<b>Итого</b>	<b>39 676</b>	

### 3.2.4.6 Контрагентные расходы

На протяжении всего периода работы ( $K = 92$  дня) необходимы услуги ISP МТС (ОАО «Мобильные ТелеСистемы») по тарифу SMART с абонентской платой в  $N = 8$  руб./сутки. Соответственно сумма расходов  $A$  рассчитывается по формуле (3.14):

$$A = K \cdot N = 736 \text{ руб.} \quad (3.14)$$

### 3.2.4.7 Накладные 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. Их величина определяется по следующей формуле (3.15):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) k_{\text{нр}} \quad (3.15)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}} = 0,2$ .

$$Z_{\text{накл.}} = 0,2 \cdot 297\,308 = 59\,461,6 \text{ руб.}$$

### 3.2.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в (таблице 3.16).

Таблица 3.16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НИИ	100	Пункт 3.2.4.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, с учетом амортизации оборудования за время его использования	85000	Пункт 3.2.4.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	118 890	Пункт 3.2.4.3

Продолжение таблицы 3.16

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	44 530	Пункт 3.2.4.4
Отчисления во внебюджетные Фонды	39 676	Пункт 3.2.4.5
Контрагентские расходы	736	Пункт 3.2.4.6
Накладные расходы	59 461,6	20 % от суммы ст.1-6
Бюджет затрат НТИ	<b>348213,6</b>	Сумма ст.1- 7

### 3.3 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (3.16)$$

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

В данном исследовании будет проведена сравнительная оценка двух вариантов исполнения задачи – с использованием разработанной оснастки «ПОЛИ-500» (исполнение 1) и без нее (исполнение 2), то есть, устанавливая отдельные светодиоды в «ПОЛИ-500».

Таблица 3.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исполнение 1	Исполнение 2
Критерии			
1. Точность результатов	0,25	9	6
2. Надежность	0,25	8	6
3. Удобство в эксплуатации	0,15	5	5
4. Энергосбережение	0,10	8	3
5. Стоимость	0,20	1	9
6. Скорость проведения эксперимента	0,05	6	5
Итого	1,00	37	34

Таким образом, интегральный показатель ресурсоэффективности равен:

$$I_{p-исп.1} = 9 \cdot 0,25 + 8 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 8 \cdot 0,10 + 1 \cdot 0,20 + 6 \cdot 0,05 = 6,3$$

$$I_{p-исп.2} = 6 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,10 + 9 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,05 = 6,1$$

Значит, исследование предпочтительней проводить с оснасткой для измерителя характеристик «ПОЛИ-500». Данную оснастку можно применять многократно, а значит, в дальнейшем ее использование значительно сократит время работы, увеличит точность результатов и уменьшит энергозатраты.

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 81 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 70 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 11;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 348 213,6 рублей;
4. По факту оценки эффективности ИР: значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 6,3, по сравнению с 6,1. Значит, исследование предпочтительней проводить с оснасткой для измерителя характеристик «ПОЛИ-500». Данную оснастку можно применять многократно, а значит, в дальнейшем ее использование значительно сократит время работы, увеличит точность результатов и уменьшит энергозатраты.

Эффективность данной исследовательской работы состоит в том, что применение ее результатов на предприятии, то есть изучение влияния радиационно-стимулированного отжига гамма квантами на СД, позволит организации повысить надежность приборов и их мощность, а также знать заранее изменение характеристик светодиодов. Проведенный SWOT-анализ позволил выявить сильные и слабые стороны исследования, возможности и угрозы, а также взаимосвязь между ними.