

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

Институт – Физико-технический
Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
РАЗРАБОТКА СПЕКТРОМЕТРА ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 3 ДО 120 КЭВ НА ОСНОВЕ PIN-ДИОДА

УДК 539.1.075:539.122.2.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АЗА	Тимошенко Евгений Аркадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОРБ ФТИ	Черепнев М. С.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Меньшикова Е.В.	к. ф. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ	Гоголева Т.С.	к. ф.-м. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер А.Р.	к. ф.-м. н.		

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

Институт – Физико-технический
 Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
 Кафедра – Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Вагнер А.Р.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Тимошенко Евгению Аркадьевичу

Тема работы:

РАЗРАБОТКА СПЕКТРОМЕТРА ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИИ ОТ 3 ДО 120 КЭВ НА ОСНОВЕ PIN-ДИОДА
Утверждена приказом директора (дата, номер)
31.01.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Разработка переносного, бюджетного спектрометра фотонного излучения на основе pin-диода. Энергетический диапазон измерений – от 3 до 120 кэВ.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы по типам детекторов ионизирующих излучений. 2. Подбор и описание компонентов и схемы спектрометра. 3. Изготовление и сборка печатной платы. 4. Проверка платы и сборка спектрометра. 5. Получение и обработка спектров 6. Определение характеристик спектрометра. 7. Экономическая часть (расчет себестоимости НИОКР). 8. Социальная ответственность.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		Схема истокового повторителя (обязательный чертеж). Схема предварительного усилителя.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна	
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.01.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОРБ ФТИ	Черепнев Максим Святославович	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Тимошенко Евгений Аркадьевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Тимошенко Евгению Аркадьевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материальные затраты НИИ 1870,5 руб. Основная заработная плата исполнителей темы 12193 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 2377 руб. Накладные расходы 98,4 руб
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 на 1 кВт·ч. Районный коэффициент города Томска – 1,3.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Размер страховых взносов – 30%. Пониженная ставка – 27,1%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений.
2. Матрица SWOT.
3. Альтернатива проведения НИ.
4. График проведения и бюджет НИ.
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.менеджмента	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Тимошенко Евгений Аркадьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Тимошенко Евгению Аркадьевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, пары вредных веществ); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – правила безопасности при работе с паяльником; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.04.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Тимошенко Евгений Аркадьевич		

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

Институт – Физико-технический
Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Прикладная физика
Период выполнения весенний семестр 2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2017	Обзор литературы по типам детекторов ионизирующих излучений	
15.03.2017	Подбор и описание компонентов и схемы спектрометра	
20.04.2017	Изготовление и сборка печатной платы	
30.04.2017	Проверка платы и сборка спектрометра	
20.05.2017	Получение и обработка спектров	
25.05.2017	Определение характеристик спектрометра	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОРБ ФТИ	Черепнев Максим Святославович	-		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер Александр Рудольфович	к. ф.-м. н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания

	и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и

	сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц, 31 рисунок, 17 таблиц, 19 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: pin-фотодиод, спектрометр, полупроводник, детектор, разрешение.

Объектом исследования является фотонное излучение в диапазоне энергий от 3 до 120 кэВ.

Цель работы – разработка спектрометра фотонного излучения на основе pin-фотодиода.

В ходе выполнения работы был изготовлен, собран и проверен полупроводниковый спектрометр. На полученном приборе были произведены измерения спектров фона, ^{241}Am и ^{152}Eu . На основе спектра америция была построена калибровочная прямая и рассчитано энергетическое разрешение спектрометра.

Разработанный спектрометр получился малогабаритным, бюджетным и с хорошим энергетическим разрешением.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word.

Оглавление

Введение	14
1 Детекторы ионизирующих излучений	16
1.2 Газовые ионизационные детекторы	17
1.2.1 Ионизационные камеры.....	17
1.2.2 Пропорциональные счетчики.....	19
1.2.3 Счетчики Гейгера-Мюллера.....	20
1.3 Сцинтилляционные детекторы	22
1.4 Полупроводниковые детекторы.....	25
1.4.1 Свойства полупроводников.....	26
1.4.2 Ионизация и соби́рание заряда	29
1.4.3 Р-п-переход	30
1.4.4 Основные типы р-п-детекторов	32
1.4.5 Полупроводниковые диоды.....	33
2 Компоненты и схемы спектрометра	34
2.1 Pin-фотодиод как детектор	34
2.2 Pin-фотодиод марки BPW34.....	36
2.3 Схема истокового повторителя.....	38
2.4 Транзистор марки 2sk152	40
2.5 Схема предварительного усилителя	42
2.6 Операционный усилитель марки NE5534.....	43
3 Экспериментальная часть	45
3.1 Изготовление и сборка печатной платы.....	45

3.2	Проверка платы и сборка спектрометра	47
3.3	Получение и обработка спектров	51
3.4	Определение характеристик спектрометра	55
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	57
4.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	58
4.3	SWOT-анализ	59
4.4	Планирование научно-исследовательской работы	63
4.4.1	Определение трудоемкости выполнения НИОКР	64
4.4.2	Разработка графика проведения научного исследования	66
4.4.3	Календарный план-график в виде диаграммы Гантта.....	67
4.5	Бюджет научного исследования	70
4.5.1	Расчет материальных затрат НТИ	70
4.5.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	72
4.5.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	74
4.5.5	Затраты на научные и производственные командировки	75
4.5.6	Контрагентные расходы	76
4.5.7	Накладные расходы.....	76
4.5.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	77
4.6	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	78

5. Социальная ответственность.....	83
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	84
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и с паяльником.	86
5.2.1 Организационные мероприятия.....	86
5.2.2 Организация рабочего места	87
5.2.3 Условия безопасной работы.....	89
5.2.4 Правила безопасности при работе с паяльником.....	92
5.3 Радиационная безопасность	93
5.4 Электробезопасность	96
5.5 Пожарная и взрывная безопасность.	99
Заключение.....	102
Список используемых источников	103
Приложение А.....	105
Приложение Б	106

Введение

Современные промышленные применения радиационных технологий требуют компактных и недорогих спектрометров фотонного излучения. Главной составной частью спектрометра является детектор излучения. К основным типам детекторов относятся ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы.

Характерной чертой сцинтилляционных, полупроводниковых, и, на сегодняшний день, ионизационных типов детекторов является то, что амплитуда выходного сигнала пропорциональна энергии, выделившейся в детекторе при регистрации отдельного кванта. Строго говоря, в зависимости от типа детектора, выходной сигнал пропорционален числу образовавшихся носителей электрического заряда (электрон-ионных или электрон-дырочных пар), либо количеству возбужденных атомов и молекул рабочего вещества детектора.

Если энергия квантов превышает 4-6 кэВ, а к энергетическому разрешению (т.е. способности детектирующей системы различать кванты различных энергий) не предъявляется жестких требований, оптимальным детектором в большинстве случаев будет сцинтилляционный. Детекторы этого типа состоят из сцинтиллятора и сочлененного с ним фотоприемника. В сцинтилляторе (рабочем веществе детектора) при регистрации кванта возникает короткая световая вспышка, которая и регистрируется фотоприемником. В качестве фотоприемников чаще всего применяются фотоэлектронные умножители (ФЭУ).

Альтернативой ФЭУ служат полупроводниковые фотоприемники. Pin-фотодиоды, применяющиеся для этих целей, не требуют высоковольтного источника питания, имеют меньшие размеры и менее чувствительны к электромагнитным помехам.

В данной работе в качестве детектора излучения используется pin-фотодиод марки BPW34. Хотя этот кремниевый детектор имеет очень высокую чувствительность к видимому свету или инфракрасному излучению, он также способен регистрировать рентгеновское и низкоэнергетическое гамма-излучение. [9]

В системе, состоящей из сцинтиллятора и ФЭУ, на образование одного фотоэлектрона расходуется энергия 300 эВ. Для кремниевых полупроводников энергия, расходуемая на образование одной пары ионов при ударной ионизации, составляет 3,6 эВ, для газов она в среднем равна 30 эВ. Увеличение числа носителей заряда и, следовательно, уменьшение относительной флуктуации величины сигнала является одной из причин гораздо более высокого энергетического разрешения полупроводниковых детекторов по сравнению с ионизационными и сцинтилляционными детекторами. Именно это и характеризует возможность разделения близких по энергии линий спектра излучения.

Актуальность: Существующие спектрометры обладают большими размерами и стоимостью, поэтому есть необходимость в разработке переносного, бюджетного спектрометра с высоким разрешением.

Цель: Разработка спектрометра фотонного излучения на основе pin-фотодиода.

Задачи:

1. Обзор литературы по типам детекторов ионизирующих излучений;
2. Подбор и описание компонентов и схемы спектрометра;
3. Изготовление и сборка печатной платы;
4. Проверка платы и сборка спектрометра;
5. Получение и обработка спектров от источников с известным радионуклидным составом;
6. Определение базовых характеристик спектрометра.

1. Детекторы ионизирующих излучений

Детектор – это часть системы, в которой происходит поглощение энергии излучения и ее преобразование, приводящее к появлению сигнала. Регистрация любого вида излучения происходит в результате его взаимодействия с веществом детектора.

Излучение от источника попадает в объем детектора, взаимодействует с рабочим веществом детектора и теряет в нем часть или всю свою энергию. В результате поглощения энергии в объеме детектора изменяется его состояние, что приводит к появлению сигнала. Этот сигнал усиливается и регистрируется в специальных устройствах (рисунок 1).



Рисунок 1 – Функциональная схема эксперимента [1]

Обычно методы регистрации излучений основаны на процессах ионизации или возбуждения атомов вещества детектора при прохождении заряженных частиц. Нейтральные частицы и электромагнитное излучение должны сначала испытать взаимодействие с веществом детектора или с примыкающим к детектору конвертером, чтобы могли образоваться заряженные частицы, вызывающие ионизацию. Методы обнаружения ионов, электронов или возбужденных атомов очень разнообразны и основаны на использовании детекторов различных типов: твердых, жидких и газонаполненных, к которым либо прикладывается, либо не прикладывается внешнее электрическое поле.

Как в газонаполненных, так и в полупроводниковых детекторах носители заряда, образовавшиеся при ионизации, собираются на электродах под действием внешнего электрического поля. В сцинтилляционных

детекторах, представляющих собой другой важный тип кристаллических детекторов, используется эмиссия света возбужденными атомами; свет затем преобразуется в поток электронов, испускаемых фоточувствительным катодом фотоэлектронного умножителя. В черенковских детекторах применяется электродинамический эффект – излучение света при прохождении сквозь рассеивающую среду заряженной частицы, скорость которой больше скорости света в данной среде. В ядерной эмульсии основной причиной активации зерен галоидного серебра, благодаря которой они могут быть проявлены, является ионизация. В камерах Вильсона возникновение центров конденсации капелек также обусловлено ионизацией. В пузырьковых камерах из-за местного нагрева перегретой жидкости вдоль треков частиц образуются цепочки пузырьков. В других случаях можно калориметрическими методами измерить нагревание, вызванное поглощением ионизирующего излучения, или определить химическую диссоциацию молекул среды под действием излучения. Применение полупроводниковых детекторов увеличивает и без того уже большое число разнообразных детекторов ионизирующих излучений. [2]

1.2. Газовые ионизационные детекторы

1.2.1. Ионизационные камеры

Под действием любого ионизирующего излучения в веществе (газе) из нейтральных атомов или молекул образуются ионы, несущие положительные или отрицательные электрические заряды. Положительные ионы возникают в результате отрыва от атома, молекулы или группы молекул одного или нескольких внешних электронов. Такие электроны в зависимости от рода газа либо остаются свободными, либо присоединяются к нейтральным частицам газа, образуя отрицательные ионы. В обычных условиях образовавшиеся ионы существуют недолго, они рекомбинируют, то есть вновь соединяются в нейтральные атомы и молекулы. [3]

Образовавшиеся при ионизации заряды устремляются к электродам под действием электрического поля. С помощью чувствительного усилителя можно зарегистрировать электрический импульс, возникающий при прохождении отдельной ионизирующей частицы (рисунок 2).

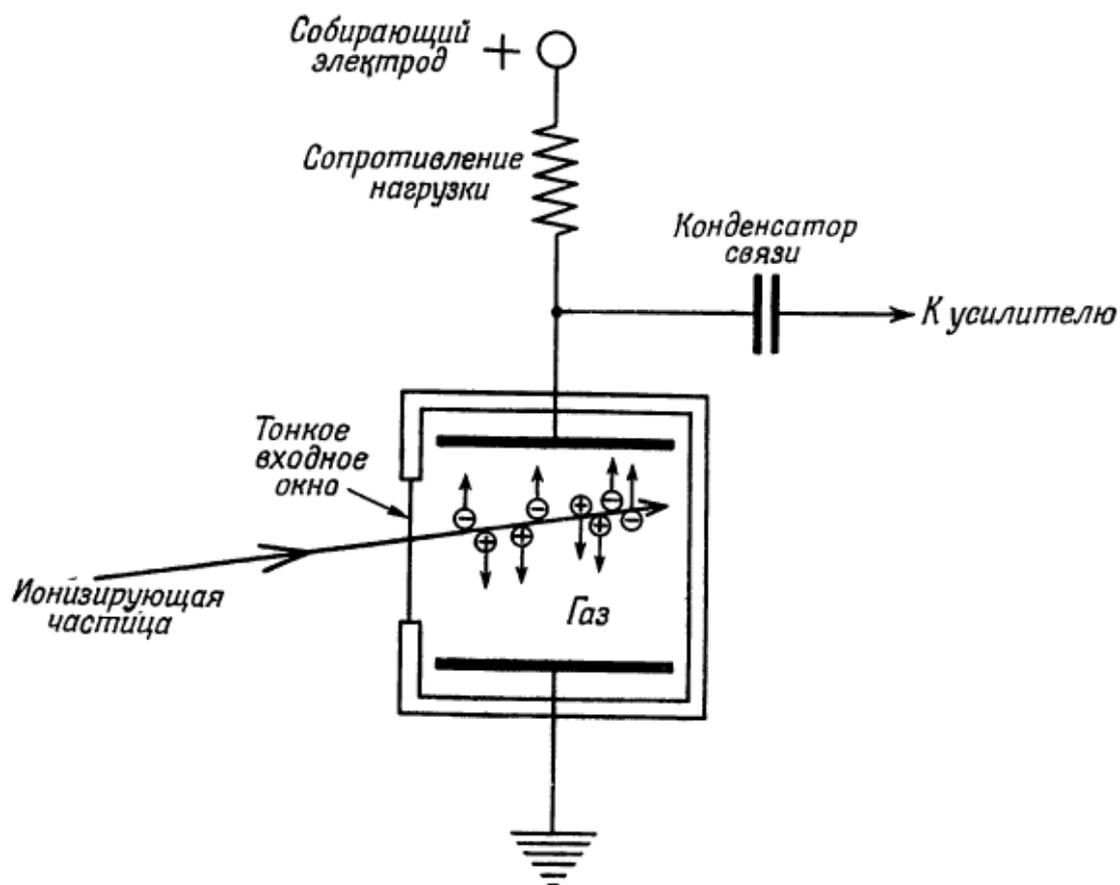


Рисунок 2 – Схема газонаполненной ионизационной камеры

Число пар ионов, созданных в результате первичной ионизации, может увеличиваться за счет вторичных процессов, связанных с возбуждением атомов газа. Часть электромагнитного излучения возбужденных атомов поглощается в газе и образует дополнительные пары ионов.

Приблизительно через 10^{-7} с после прохождения ионизирующей частицы энергия ионов и электронов уменьшается из-за столкновений до значений ниже 10 эВ. Носители заряда начинают двигаться к электродам со скоростью, зависящей от напряженности электрического поля, состава газа, его

давления и температуры. Электроны ускоряются до тех пор, пока их энергия не возрастает настолько, что они могут при столкновениях возбудить молекулы газа. Эта энергия в аргоне составляет приблизительно 10 эВ, поэтому эффективная «температура» электронов может превышать равновесную температуру в несколько сотен раз. На скорость дрейфа электронов влияет добавление небольшого количества многоатомных газов, например CO₂ или CH₄. Эти газы обладают более низкими возбужденными энергетическими уровнями, поэтому температура электронов снижается. При этом уменьшается разупорядочивающее влияние упругих столкновений с молекулами газа на дрейф электронов, и суммарная скорость дрейфа фактически возрастает.

Молекулы некоторых электроотрицательных газов, например кислорода, галогенов, паров воды, легко захватывают электроны, образуя отрицательные ионы, причем вероятность захвата электрона при одном столкновении с такой молекулой равна 10⁻³. Этот эффект не наблюдается в инертных газах, а также в азоте, водороде и метане. Поэтому эти газы используются в ионизационных камерах. При наполнении необходимо тщательно избавляться от малейших количеств электроотрицательных газов.

Ионизационные камеры (обычно быстродействующие камеры с сеткой) используются во многих точных экспериментах по изучению заряженных частиц, которые образуются в результате ядерных реакций, идущих внутри или вне камеры, либо испускаются радиоактивным источником. Если ядерная реакция происходит вне камеры, то камера должна иметь тонкое окно, через которое частицы попадают в рабочий объем без значительного изменения своей энергии.

1.2.2. Пропорциональные счетчики

При увеличении электрического поля в ионизационной камере электроны могут приобрести между столкновениями большую энергию,

достаточную для ионизации нейтральных молекул газа. Возникающие при этой вторичной ионизации электроны могут сами создавать дальнейшую ионизацию; таким образом, возникает «лавина». Заряд, который собирается при этом на электронах, в N раз больше заряда, образовавшегося при первичной ионизации. Коэффициент N называется коэффициентом газового усиления и может при соответствующих условиях достигать величины 10^4 . Чтобы коэффициент газового усиления как можно меньше зависел от места возникновения первичной ионизации, применяется камера с цилиндрической геометрией. Тонкий проволочный анод создает радиальное электрическое поле, которое имеет такую величину, что вызывает газовое усиление только в непосредственной близости от анода. Поэтому величина N постоянна для всех импульсов независимо от места возникновения первичной ионизации.

Выходной импульс достигает половины своей максимальной амплитуды за время порядка 10^{-6} с, в течение которого на аноде собираются электроны. Медленное возрастание импульса, связанное с собиранием ионов, происходит за значительно большее время. Поэтому импульсы обычно обрезают с помощью соответствующего выбора постоянной времени цепочек связи усилителя. После прохождения импульса необходимо время около 100 мкс (время восстановления), чтобы процессы в счетчике полностью закончились. Это время примерно равно времени собирания медленно движущегося облака положительных ионов, которое изменяет электрическое поле у анода.

Пропорциональные счетчики наиболее удобны для регистрации ядерных излучений, создающих небольшую ионизацию, например рентгеновских лучей и электронов малых энергий.

1.2.3. Счетчики Гейгера-Мюллера

Если напряжение на аноде пропорционального счетчика достаточно

велико, то выходные импульсы уже не пропорциональны первичной ионизации. В конце концов их амплитуда достигает постоянной величины, не зависящей от типа и энергии ионизирующих частиц или фотонов. Этот режим работы счетчика называется областью Гейгера.

Работа гейгеровских счетчиков основана на возникновении ультрафиолетового излучения, испускаемого атомами, которые возбуждаются при движении электронной лавины и нити анода. В ранних конструкциях счетчиков Гейгера фотоны этого излучения выбивали фотоэлектроны из металлических стенок счетчика. При движении к аноду фотоэлектроны ускоряются и образуют у анода новые лавины, которые распространяются таким же образом вдоль всей длины нити анода. Процесс прекращается только тогда, когда пространственный заряд медленно движущихся положительных ионов сильно снижает напряженность электрического поля у анода, что приводит к уменьшению числа электронов и возбужденных атомов в лавине. Когда положительные ионы достигают катода, они тоже могут выбить из него электроны и вызвать таким образом самоподдерживающийся разряд в газе счетчика. Чтобы предотвратить возникновение разряда, был предложен ряд специальных электронных схем, снижающих анодное напряжение на достаточно большое время. Вторичные электроны, образованные положительными ионами у катода в течение этого времени, не могут вызвать лавину, такие счетчики называются несамогасящимися.

Подобные схемы не требуются при использовании гейгеровских счетчиков другого типа, называемых самогасящимися. В газ, наполняющий объем счетчика, вводят небольшое количество паров многоатомных газов, например пары спирта или ацетона. Так как эти газы обладают низким потенциалом ионизации, они сильно поглощают фотоны, создаваемые электронной лавиной. Фотоэлектроны образуются только в непосредственной близости от нити анода. Разряд быстро распространяется вдоль нити анода со скоростью порядка 10^7 см/с. Пары многоатомных газов играют двойную роль,

так как они, кроме того, не дают возможности положительным ионам дойти до катода. Положительные ионы нейтрализуются при соударениях с молекулами паров, так как при этом происходит энергетически выгодный переход электрона от нейтральной молекулы к иону. Положительно заряженные молекулы паров движутся затем к катоду, где они диссоциируют, не образуя вторичных электронов. На этом разряд заканчивается.

Время восстановления гейгеровских счетчиков обоих видов составляет приблизительно 200 мкс, хотя время нарастания выходного импульса может быть равно всего лишь 1 мкс. Счетчики Гейгера применяются для получения больших сигналов, не требующих значительного усиления. Однако их нельзя использовать для определения типа ионизирующего излучения, а также для измерения энергии падающих частиц или гамма-квантов. [2]

1.3. Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционные детекторы состоят из сцинтиллятора и сочлененного с ним фотоприемника. В сцинтилляторе (рабочем веществе детектора) при регистрации кванта возникает короткая световая вспышка, которая и регистрируется фотоприемником. В качестве фотоприемников чаще всего применяются фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и реже, для специфических областей применения, полупроводниковые диоды.

Использование в сцинтилляционных детекторах ФЭУ обусловлено в первую очередь тем, что интенсивность световой вспышки невелика и для преобразования ее в электрический сигнал необходимо устройство с большим коэффициентом усиления и низким уровнем шума. Типовой коэффициент усиления ФЭУ составляет 10^5 - 10^6 , шум обусловлен в основном термоэлектронной эмиссией с фотокатода и обычно не представляет серьезной проблемы в сцинтилляционной спектрометрии.

Длительность токового сигнала на выходе ФЭУ определяется длительностью световой вспышки и в зависимости от выбранного сцинтиллятора, варьируется в диапазоне от нескольких наносекунд до нескольких микросекунд. [4]

Сцинтилляторы бывают твердыми, жидкими или газообразными; наиболее часто используются твердые сцинтилляторы. По сравнению с газонаполненными ионизационными камерами преимущество твердых сцинтилляционных детекторов состоит в том, что регистрирующее вещество имеет высокую электронную плотность, поэтому пробег заряженных частиц и гамма-квантов в нем очень мал. Следовательно, детектор относительно небольшого объема имеет высокую эффективность регистрации гамма-квантов. Кроме того, сцинтилляционные детекторы обладают сравнительно хорошим энергетическим разрешением и высокой временной разрешающей способностью. Применяя органические сцинтилляторы, можно различать излучения некоторых типов, анализируя форму импульсов.

Необходимо различать два вида люминесценции сцинтилляторов. Электроны, перешедшие в более высокие возбужденные состояния при взаимодействии с кулоновским полем заряженных частиц, могут возвратиться в основное энергетическое состояние либо путем прямого перехода, либо через промежуточное состояние. Находясь в этом промежуточном метастабильном состоянии, электрон может получить тепловую энергию и снова перейти в свое первоначальное возбужденное состояние. Впоследствии электрон возвращается в основное состояние, испуская при этом излучение, соответствующее ранее поглощенной энергии. Такое задержанное излучение называется фосфоресценцией, а излучение, связанное с прямым переходом, – флуоресценцией. Интенсивность фосфоресценции увеличивается с повышением температуры. Флуоресценция протекает очень быстро и практически прекращается вместе с возбуждением, тогда как фосфоресценция происходит и после прекращения возбуждения. Обычно длительность

фосфоресценции не меньше 10^{-8} с. Для регистрации ионизирующего излучения применяются только те сцинтилляторы, которые имеют малую длительность фосфоресценции. Кроме того, сцинтилляторы должны быть прозрачны для собственной люминесценции, а спектральное распределение излучения должно по возможности соответствовать спектральной чувствительности фотокатодов фотоэлектронных умножителей, выпускаемых промышленностью.

Эффективную флуоресценцию можно получить только в том случае, когда сведена к минимуму роль других процессов, сопровождающихся потерями энергии. Поэтому необходимо исключить диссоциацию молекул и безызлучательную передачу энергии колебаниям молекул решетки. Такие условия выполняются для ароматических углеводородов, например антрацена, стильбена, нафталина, молекулы которых построены из связанных бензольных колец. Кроме того, они прозрачны для видимого света. Чистые кристаллы этих веществ обладают незначительной фосфоресценцией.

Неорганические вещества, которые могут быть использованы в качестве сцинтилляторов, представляют собой прозрачные кристаллы диэлектриков, главным образом галоидных солей щелочных металлов. В отличие от органических сцинтилляторов они работают наиболее эффективно в том случае, когда в них содержатся небольшие количества соответствующих примесей, которые называются активаторами. Примеры: NaI(Tl) – иодид натрия, активированный таллием, CsI(Tl) – иодид цезия, активированный таллием и другие.

Обычная блок-схема установки со сцинтилляционным детектором и фотоэлектронным умножителем изображена на рисунке 3. Свет, попадающий на чувствительный фотокатод умножителя, выбивает фотоэлектроны, которые затем ускоряются специальной системой электродов. Она устроена таким образом, что электроны попадают на ряд пластин (динодов) и вызывает вторичную электронную эмиссию, которая приводит к усилению сигнала. Если

фотоэлектронный умножитель имеет n динодов и число вторичных электронов в δ раз больше числа падающих на динод электронов, то полный коэффициент усиления фотоэлектронного умножителя равен δ^n . Поэтому при $n = 10$ и $\delta = 4$ легко получить усиление порядка 10^6 .

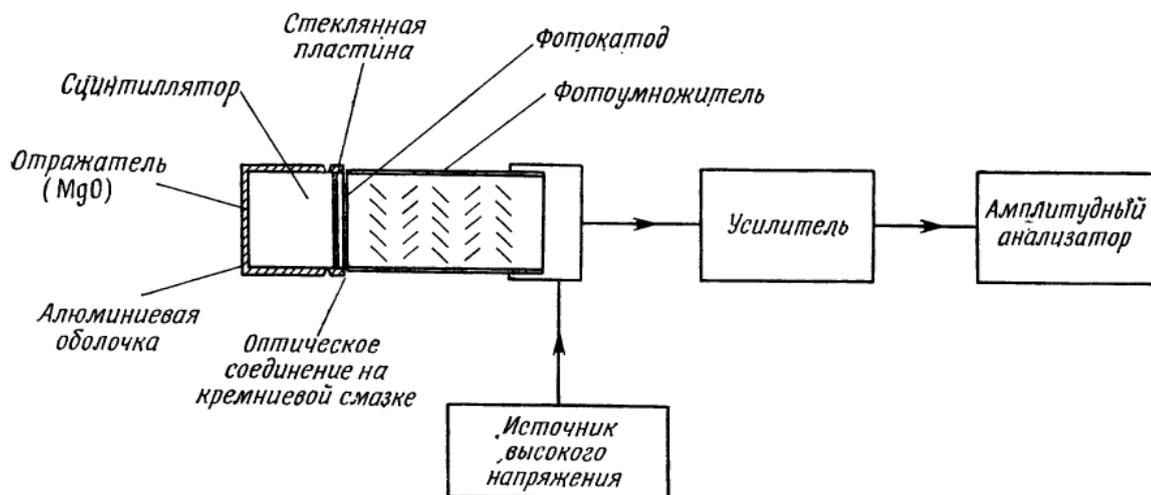


Рисунок 3 – Типичная блок-схема установки со сцинтилляционным детектором

1.4. Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые детекторы представляют собой ионизационные камеры с твердым диэлектриком между электродами, в которых носители заряда, образовавшиеся при поглощении ионизирующих излучений, собираются на электродах. Возникающие импульсы служат для регистрации излучений. Поглощение излучения всегда сопровождается образованием одного или нескольких вторичных электронов с большой энергией. В свою очередь, вторичные электроны обуславливают дальнейшую ионизацию. Этот каскадный процесс продолжается, пока энергия хотя бы одного электрона достаточна для того, чтобы вызвать ударную ионизацию. Отсюда следует, что число образовавшихся пар ионов будет зависеть только от энергии, потерянной падающими частицами, и не должно зависеть от типа ядерного излучения. Это

обуславливает характерное для ионизационных камер линейное соотношение между амплитудой импульса и потерянной энергией для всех типов частиц, если их энергия превышает некоторое небольшое пороговое значение. [2]

Для кремниевых полупроводников энергия, расходуемая на образование одной пары ионов при ударной ионизации, составляет 3,6 эВ. В системе, состоящей из сцинтиллятора и фотоэлектронного умножителя, на образование одного фотоэлектрона расходуется энергия 300 эВ, для газов она в среднем равна 30 эВ. Увеличение числа носителей заряда и, следовательно, уменьшение относительной флуктуации величины сигнала является одной из причин гораздо более высокого энергетического разрешения полупроводниковых детекторов по сравнению с ионизационными и сцинтилляционными детекторами.

1.4.1. Свойства полупроводников

К полупроводникам относятся материалы, которые при комнатной температуре имеют удельное сопротивление от 10^{-5} до 10^{10} Ом·м. Наиболее часто используются кремний, арсенид галлия, селен, германий, теллур, разные оксиды, сульфиды, нитриды и карбиды. [5]

Энергетические зоны в полупроводниках образуются из разрешенных электронных энергетических уровней отдельных атомов, составляющих решетку кристалла. У изолированного атома энергетические уровни дискретны, когда атомы сближаются, образуя решетку кристалла, атомные энергетические уровни расщепляются в соответствии с расстоянием между атомами, а также в соответствии с величиной и характером электрического поля, обусловленного атомными ядрами. Дискретные энергетические уровни изолированных атомов расщепляются в зоны, причем каждая из этих зон не локализована, а относится ко всему кристаллу.

Полупроводники и диэлектрики обладают тем свойством, что при

абсолютном нуле температуры, когда электроны заполняют наинизшие свободные энергетические уровни, одна или несколько энергетических зон должны быть целиком заполненными. Наивысшая заполненная зона отделена от следующей более высокой зоны запрещенной зоной шириной E_g , в которой отсутствуют разрешенные уровни. На этом основана представленная на рисунке 4 схема энергетических зон, на которой показаны наивысшая заполненная (или валентная) зона и наинизшая свободная зона (или зона проводимости), разделенные запрещенной зоной E_g .

Так же как и для изолированного атома, разрешенные значения энергии тесно связаны с разрешенными значениями импульса (волнового вектора).

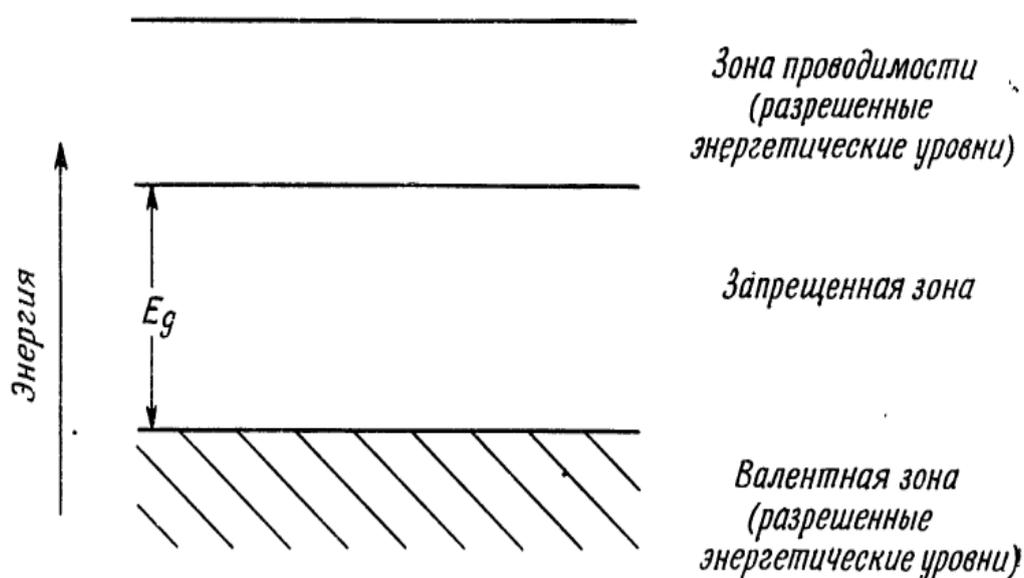


Рисунок 4 – Схема энергетических зон полупроводника

При абсолютном нуле проводимость отсутствует, так как в зоне проводимости нет электронов, а валентная зона полностью заполнена. Это означает, что любое изменение волнового вектора одного из электронов должно сопровождаться равным и противоположным по знаку изменением волнового вектора другого электрона, т. е. полный волновой вектор электронов, находящихся в заполненной зоне, всегда равен нулю. При более

высоких температурах электроны могут переходить из валентной зоны в зону проводимости в результате теплового возбуждения. При равновесии эти электроны уравниваются другими электронами, падающими обратно на свободные уровни валентной зоны.

В обычных условиях, как зона проводимости, так и валентная зона заполнены частично. Поэтому при приложении к кристаллу электрического поля изменяются энергии и волновые векторы электронов в каждой зоне. Как правило, зона проводимости сравнительно мало заполнена электронами, которые движутся практически независимо друг от друга. Это означает, что валентная зона почти заполнена.

В собственных полупроводниках концентрация электронов n равна концентрации дырок p . Подвижности электронов и дырок имеют тот же физический смысл, что и подвижности электронов и ионов, образующихся при газовом разряде, т. е. представляют собой среднюю скорость дрейфа в направлении единичного электрического поля при условии, что в среднем энергия, получаемая носителями от электрического поля, теряется вследствие процессов рассеяния в решетке кристалла.

В собственных полупроводниках концентрации электронов и дырок равны. Примеси или несовершенства структуры решетки создают локализованные энергетические уровни, которые обычно расположены в запрещенной зоне. Локализованные центры могут ионизироваться, либо отдавая электроны в зону проводимости (доноры), либо принимая электроны из валентной зоны (акцепторы). Энергия, необходимая для этого, меньше ширины запрещенной зоны E_g . При любом из этих процессов той или иной зоне возникает только один свободный носитель заряда, поэтому равенство между концентрациями электронов и дырок нарушается. Такие полупроводники называются примесными. Концентрация свободных носителей заряда при любой температуре теперь зависит от концентрации примесей и их энергии активации.

При тепловом равновесии полупроводник характеризуется определенной концентрацией электронов и дырок, скорости которых распределяются в соответствии с температурой решетки, и в целом электрически нейтрален. Под действием света, поглощающего в веществе, или ионизирующих частиц возникает некоторое количество неравновесных носителей, рекомбинирующих с носителями зарядов другого знака, и их концентрация экспоненциально уменьшается, стремясь к равновесному значению.

1.4.2. Ионизация и соби́рание заряда

Частица в кристалле полупроводника замедляется почти мгновенно (в большинстве случаев за время от 10^{-12} до 10^{-11} сек), теряя почти всю свою энергию на образование электронов с малой энергией путем ударной ионизации. Гамма-лучи теряют свою энергию иным образом. В результате фотоэффекта или комптон-эффекта при каждом взаимодействии они образуют быстрый электрон, который затем можно рассматривать как первичную бомбардирующую частицу, хотя она и не падает на поверхность счетчика. В свою очередь вторичные электроны очень быстро теряют свою энергию за счет дальнейшей ударной ионизации, пока их оставшаяся кинетическая энергия не становится слишком малой для образования электронно-дырочной пары. Эти акты ионизации можно рассматривать как упругие столкновения «бильярдных шаров», при которых сохраняются энергия и импульс. Следовательно, хотя пороговая энергия фотона, необходимая для образования электронно-дырочной пары, равна E_g (ширина запрещенной зоны), пороговая энергия ударной ионизации будет больше и обычно составляет примерно $1,5E_g$, если массы электрона и дырки одинаковы. Если они неодинаковы, то эта энергия будет значительно больше. Для кремния средняя энергия, расходуемая на образование электронно-дырочной пары, составляет 3,6 эВ, ширина

запрещенной зоны кремния при комнатной температуре равна 1,15 эВ.

Сигнал, служащий для регистрации частицы и изменения ее энергии, обуславливается разделением электронно-дырочных пар около трека частицы и собиранием носителей заряда на электродах детектора. Сначала приложенное электрическое поле начинает разделять положительные и отрицательные заряды. Однако, поскольку колонка ионизации поляризуется, возникает поле пространственного заряда обратного знака, которое может полностью нейтрализовать приложенное электрическое поле в центре колонки. В таком случае около центра колонки ионизации разделение зарядов продолжается за счет обычной биполярной диффузии, а приложенное поле продолжает разделять заряды на ее краях. В конце концов из-за диффузии диаметр колонки ионизации возрастает настолько, что в нее снова может проникнуть приложенное электрическое поле. На этой стадии процесс разделения зарядов заканчивается и начинается собирание зарядов, причем каждый носитель притягивается к соответствующему электроду полным приложенным полем.

1.4.3. P-n-переход

Рассмотрим переход между областями n-типа и p-типа в кристалле полупроводника. В первой области основными носителями заряда являются электроны, во второй – дырки. Поэтому около p-n-перехода каждая группа носителей стремится диффундировать в другую область. Любой из этих процессов диффузии вызывает протекание электрического тока из области p-типа в область n-типа. Отсюда ясно, что данные процессы не могут продолжаться в отсутствие источника питания. Ток прекращается из-за появления напряжения на p-n-переходе, обусловленного существованием ионизированных примесей в каждой области.

Неравновесные положительно заряженные доноры в области n-типа и отрицательно заряженные акцепторы в области p-типа образуют двойной слой,

который отталкивает свободные носители и не дает им возможности пройти через р-п-переход. Разность потенциалов на р-п-переход является барьером для электронов и дырок. Высота этого потенциального барьера обычно значительно меньше ширины запрещенной зоны полупроводника. Вблизи р-п-перехода электронные токи, протекающие в обоих направлениях, уравниваются дырочными токами, протекающими в противоположных направлениях.

Ток сквозь р-п-переход протекает в прямом направлении в том случае, когда приложенное поле направлено противоположно полю, возникшему на р-п-переходе, т. е. когда отрицательное напряжение смещения подано на область п-типа. Тогда электроны будут двигаться в область р-типа, а дырки – в область п-типа. Очевидно, что если приложенное напряжение превышает напряжение, возникшее на р-п-переходе, то концентрация носителей в обеих областях будет не меньше равновесного значения.

Если кристалл с таким р-п-переходом используется в качестве счетчика, то прямое смещение не представляет большого интереса для рассмотрения. Счетчик приобретает необходимые свойства только в том случае, когда напряжение смещение приложено в обратном направлении. Если на область п-типа подано положительное напряжение смещения, то по аналогии можно сказать, что приложенное напряжение помогает напряжению, возникшему на р-п-переходе, удалять свободные носители из области вблизи перехода и из областей, лежащих по обе стороны от него. Именно здесь, в так называемом обедненном слое существуют условия для счета частиц, так как под действием напряжения обратного смещения концентрация свободных носителей снижается до величины, меньшей равновесной концентрации, что приводит к уменьшению токовых шумов, возникающих в обедненном слое. Падение приложенного напряжения происходит в основном на обедненном слое, что способствует применению его для счета частиц.

Расстояния, на которые обедненный слой входит в обе области, обратно

пропорциональны отношению концентраций ионизированных примесей в этих областях, или прямо пропорциональны отношению удельных сопротивлений, которые измеряются в р- и n-областях на некотором удалении от р-n-перехода. Обычно концентрации ионизированных примесей по обе стороны от р-n-перехода сильно различаются, что обусловлено способом изготовления счетчиков. В таком случае обедненный слой почти полностью лежит в полупроводнике с высоким удельным сопротивлением. [2]

1.4.4. Основные типы р-n-детекторов

В настоящее время можно выделить три типа р-n-детекторов, пригодных для спектрометрии ионизирующего излучения. Они отличаются как по способу получения р-n-перехода, так и по характеристикам и своему назначению.

Первый тип – поверхностно-барьерные детекторы – получают за счет создания р-n-барьера непосредственно на поверхности полупроводника, обладают очень тонким «окном» и сравнительно неширокой чувствительной областью, поэтому применяются, в основном, для спектрометрии частиц с небольшим пробегом в кремнии.

Второй тип – диффузионные р-n-детекторы, в которых р-n-переход создается в процессе диффузии соответствующих примесей в полупроводниковую пластинку р- или n-типа проводимости. Получившийся на поверхности слой иного типа проводимости является по сути дела «окном» детектора. К сожалению, эти слои значительно толще, чем у поверхностно-барьерных детекторов, однако чувствительная область таких детекторов несколько шире за счет большего удельного сопротивления кремния р-типа. Ввиду этих причин, диффузионные счетчики целесообразно использовать для спектрометрии частиц с малой удельной ионизацией, но небольших энергий.

Третий тип – диффузионно-дрейфовые р-i-n-детекторы,

приготавливаются на основе, так называемой р-і-п-структуры, в которой і – область (область с собственной проводимостью), являясь высокоомной, служит чувствительной областью счетчика. Ширина чувствительного слоя в таких детекторах достигает несколько миллиметров. Так же, как и у диффузионных детекторов, «окном» служит либо р- либо п-область. Такие детекторы пригодны для спектрометрии частиц с большими пробегами. [6]

1.4.5. Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод представляет собой комбинацию двух полупроводниковых слоев с различными типами проводимости (рисунок 5, а). Такая комбинация обладает способностью гораздо лучше пропускать ток в одном направлении (от р к слою п) и гораздо хуже в другом. Полярность напряжения, соответствующая большому току, называется прямой, а соответствующая меньшему тока – обратной. Обычно пользуются терминами прямое и обратное напряжение, прямой и обратный ток. На рисунке 5, б показаны символическое изображение диода, направление прямого тока и полярность прямого напряжения.

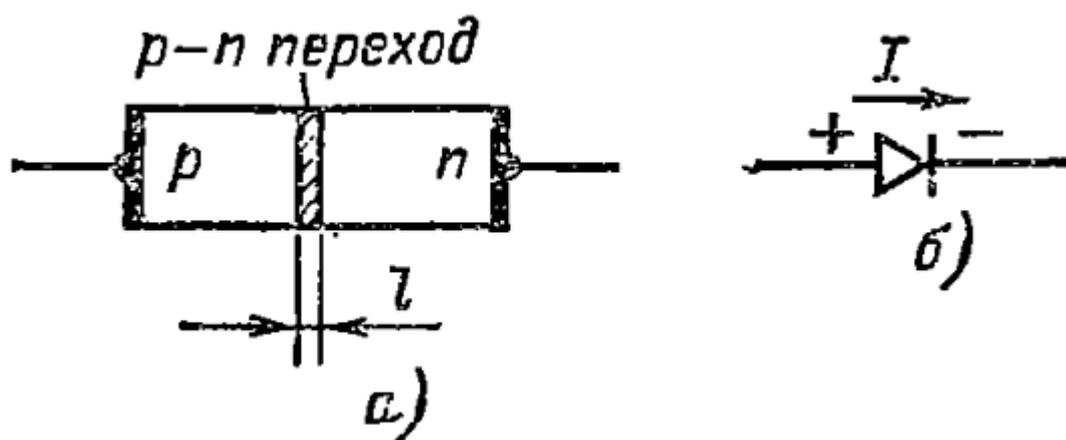


Рисунок 5 – Упрощенная структура плоскостного диода (а) и его условное обозначение (б)

Поверхность, по которой контактируют слои р и n, называется металлургической границей, а прилегающая к ней область объемных (или пространственных) зарядов – электронно-дырочным переходом или р-n переходом. Два других внешних контакта в диоде не выпрямляющие: поэтому их называют омическими контактами. Электроды диода носят название анод (+) и катод (-).

В общих чертах процессы в полупроводниковом диоде можно охарактеризовать следующим образом. В отсутствие внешнего напряжения в р-n переходе имеет место бальцмановское равновесие: диффузионные и дрейфовые потоки носителей уравновешены и результирующего тока нет.

Полярность прямого напряжения способствует «выталкиванию» дырок из р-слоя в n-слой и электронов в обратном направлении, т.е. инжекции неосновных носителей в оба слоя. Инжектированные носители диффундируют вглубь слоев, и эта монополярная диффузия сопровождается протеканием достаточно большого прямого тока.

Полярность обратного напряжения способствует «выталкиванию» дырок из n-слоя и электронов из р-слоя в область перехода, т.е. экстракции неосновных носителей. При этом протекает небольшой обратный ток. [7]

2. Компоненты и схемы спектрометра

2.1. Pin-фотодиод как детектор

Pin-фотодиод – это приемник оптического излучения, имеющий полупроводниковую структуру, которая включает в себя область положительных зарядов (р), область отрицательных зарядов (n), и разделяющую их нейтральную область (i), обедненную носителями заряда (рисунок б).

Фотоны вводятся в детектор через окошко, имеющее тонкий слой проводящего покрытия. В базе и коллекторе повышена концентрация

носителей зарядов. В слое поглощения может создаваться некоторый примесный фон.

Когда фотон попадает в обедненную область, там образуются электронно-дырочные пары. Под действием электрического поля они разделяются и начнут двигаться в обратном направлении к своим электродам. Образуется электрический ток. Полученный сигнал затем усиливается в операционных усилителях (ОУ) и фильтруется. Количество заряда, получаемого от отдельных фотонов крайне мало, и снижение общего уровня шума позволяет схем использовать для обнаружения фотонов низкой энергии.

Обедненная область создается обратным смещением перехода, при котором через прибор течет слабый обратный ток. При обратном смещении электроны стремятся выйти из n-ой области во внешнюю цепь и образовать дырки в p-области, объединяя носители заряда область перехода. Если подать обратное напряжение, то область расширится, а, следовательно, чем больше путь, частиц, тем больше возможность взаимодействия. Данная структура используется в фотодиодах для того, чтобы получить как можно больше носителей заряда, как это возможно, на один фотон, оптимизируя чувствительность устройства.

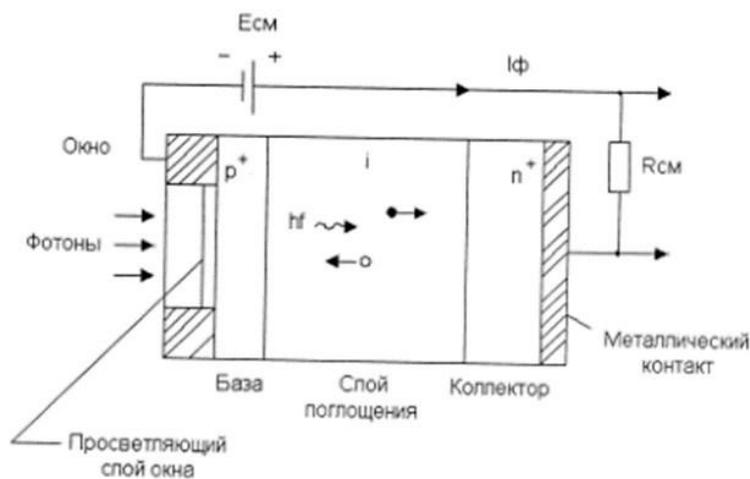


Рисунок 6 – Конструкция рin-фотодиода

Основным требованием использования фотодиода в качестве детектора излучения является то, что свет должен быть полностью исключен, так как в противном случае фототок будет чрезмерно заливать сигнал, который мы ищем. В нашей работе была использована обычная алюминиевая кухонная фольга в качестве экрана.

Другой способ повышения чувствительности является увеличение чувствительной области устройства. Тем не менее, это имеет недостаток, заключающийся в увеличении емкости устройства, которая уменьшает (напряжение) амплитуду его выходного сигнала. Имеющиеся в продаже полупроводниковые детекторы излучения имеют большую площадь и широкую внутреннюю область. Простые pin-фотодиоды, такие как BPW34 менее чувствительны, чем эти устройства, но и, конечно же, несколько дешевле. [8]

Фотодиоды BPW34 и BPX61 практически идентичны, за исключением их корпусов. (Дешевый) BPW34 поставляется в пластиковом корпусе, в то время как BPW61 приходит в TO-5 металлическом корпусе с окном из стекла.

2.2. Pin-фотодиод марки BPW34

В данной дипломной работе в качестве детектора излучения был использован кремниевый фотодиод марки BPW34. Этот диод имеет пластиковую упаковку. Чувствительным компонентом детектора является кремниевая матрица 3×3 мм, размещенная внутри упаковки (рисунок 7).

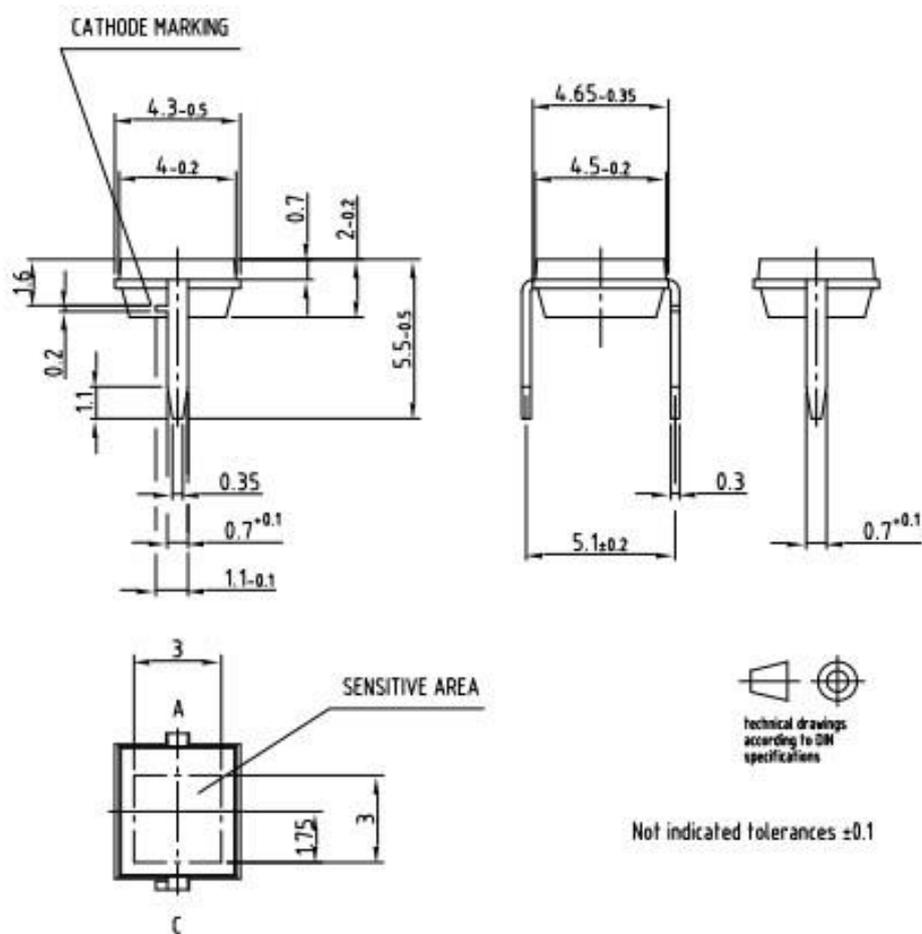


Рисунок 7 – Pin-фотодиод BPW34

Структура чувствительной области типична для pin-фотодиодов и показана на рисунке 8. Она имеет толстый слой собственного полупроводника i , помещенный между p - и n -слоями. Этот слой является первичной областью, где захватываются падающие фотоны, и генерируется фототок. Дополнительный слой n^+ улучшает электрический контакт между чувствительной зоной и металлическим электродом.

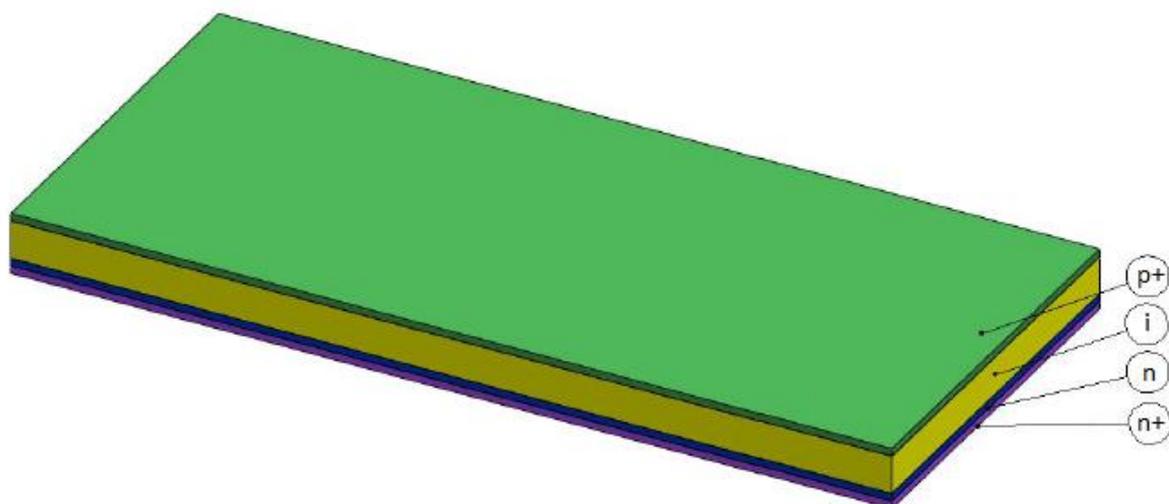


Рисунок 8 – Структура чувствительного слоя

Ширина внутреннего слоя фотодиода BPW34 составляет 210 мкм. При захвате фотона в этой области возникают носители заряда. Обратное напряжение, приложенное к фотодиоду, приводит их в соответствующие области проводимости. В результате генерируется импульс тока.

2.3. Схема истокового повторителя

Генерация одиночной электронно-дырочной пары требует приблизительно 3,6 эВ. Для оценки типичных значений генерируемого заряда, рассмотрим полный захват одиночного фотона 59,54 кэВ, который соответствует главной линии спектра ^{241}Am . В этом случае в фотодиоде генерируется полный заряд 2,6 фКл (10^{-12} Кл).

Для регистрации такого низкого заряда необходима электронная схема с низким уровнем шума, с высоким входным импедансом и низкой входной емкостью. Этим требованиям удовлетворяют усилители с полевыми транзисторами с контактным затвором (JFET). Была использована электронная схема истокового повторителя на основе малошумящего транзистора JFET (рисунок 9). Цепь истокового повторителя была выбрана из-за очень низкой

входной емкости. В этом случае при постоянном напряжении затвор-исток емкость затвор-исток становится равной нулю, а при постоянном потенциале стока увеличение емкости затвор-сток вследствие эффекта Миллера не происходит.

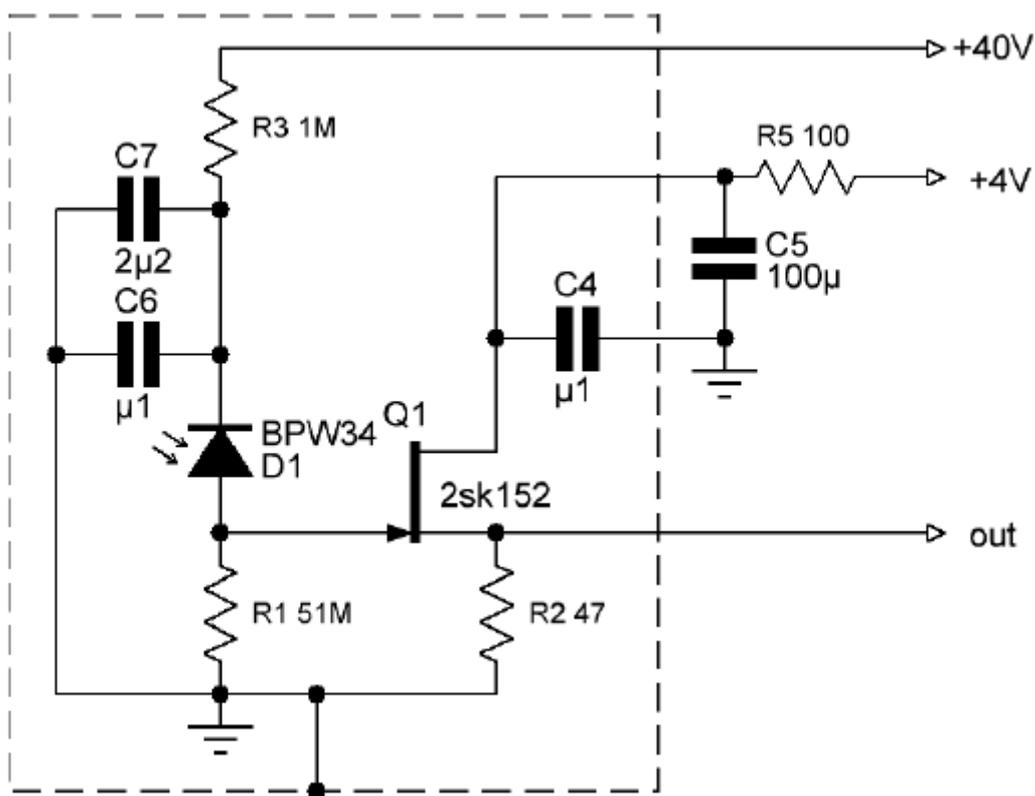


Рисунок 9 – Схема истокового повторителя.

Для маломощных транзисторов JFET 2SK152 входная емкость меньше 2 пФ. При напряжении питания 40 В фотодиод BPW34 имеет емкость 10 пФ, и с учетом паразитной емкости проводки суммарная входная емкость составляет менее 15 пФ. Следовательно, для входного заряда 2,6 кГц амплитуда выходного импульса составляет 0,17 мВ.

Из-за малой входной емкости и очень высокого входного импеданса схема истокового повторителя, обладает высокой чувствительностью к электрическим помехам. Также она подвергается воздействию микрофона в фотодиодах и керамических конденсаторах. Кроме того, схема демонстрирует

очень высокую чувствительность к видимому, инфракрасному и ультрафиолетовому излучению. Таким образом, было обеспечено электрическое и световое экранирование цепи следящего устройства источника, используя медную фольгу толщиной 35 мкм. [9]

2.4. Транзистор марки 2sk152

Транзистор – полупроводниковый элемент с тремя выводами, позволяющий регулировать силу электрического тока в цепи. В зависимости от принципа действия и конструкции транзисторы подразделяются на два основных класса: полевые и биполярные. Основное их отличие состоит в том, что в полевом транзисторе сила тока, протекающая через него, регулируется внешним электрическим полем – напряжением, тогда как в биполярном транзисторе сила тока регулируется управляющим током.

Полевые транзисторы бывают двух видов: с управляющим p-n-переходом (JFET) и со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-транзисторы).

Транзистор с управляющим p-n-переходом представляет собой участок из полупроводникового материала, имеющего электропроводность определенного типа, от концов которой сделаны два вывода – электроды стока и истока. Электрод, от которого начинают движение основные носители заряда в канале, называют истоком, а электрод, к которому движутся основные носители заряда, называют стоком. Вдоль пластины выполнен p-n-переход, от которого сделан третий вывод – затвор.

Работа полевого транзистора с управляющим p-n-переходом основана на изменении сопротивления канала за счет изменения размеров области, обедненной основными носителями заряда, которое происходит под действием приложенного к затвору обратного напряжения.

Условные обозначения полевых транзисторов даны на рисунке 10.

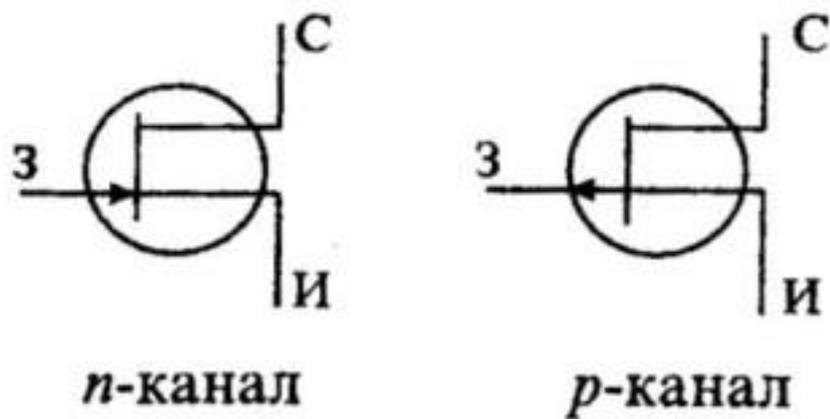


Рисунок 10 – Условные обозначения полевого транзистора, имеющего канал n-типа и p-типа [5]

В данной дипломной работе используется малошумящий, кремниевый, полевой транзистор с управляющим p-n-переходом (JFET) с каналом n-типа марки 2sk152, изготовленный в корпусе ТО-92 (рисунок 11).

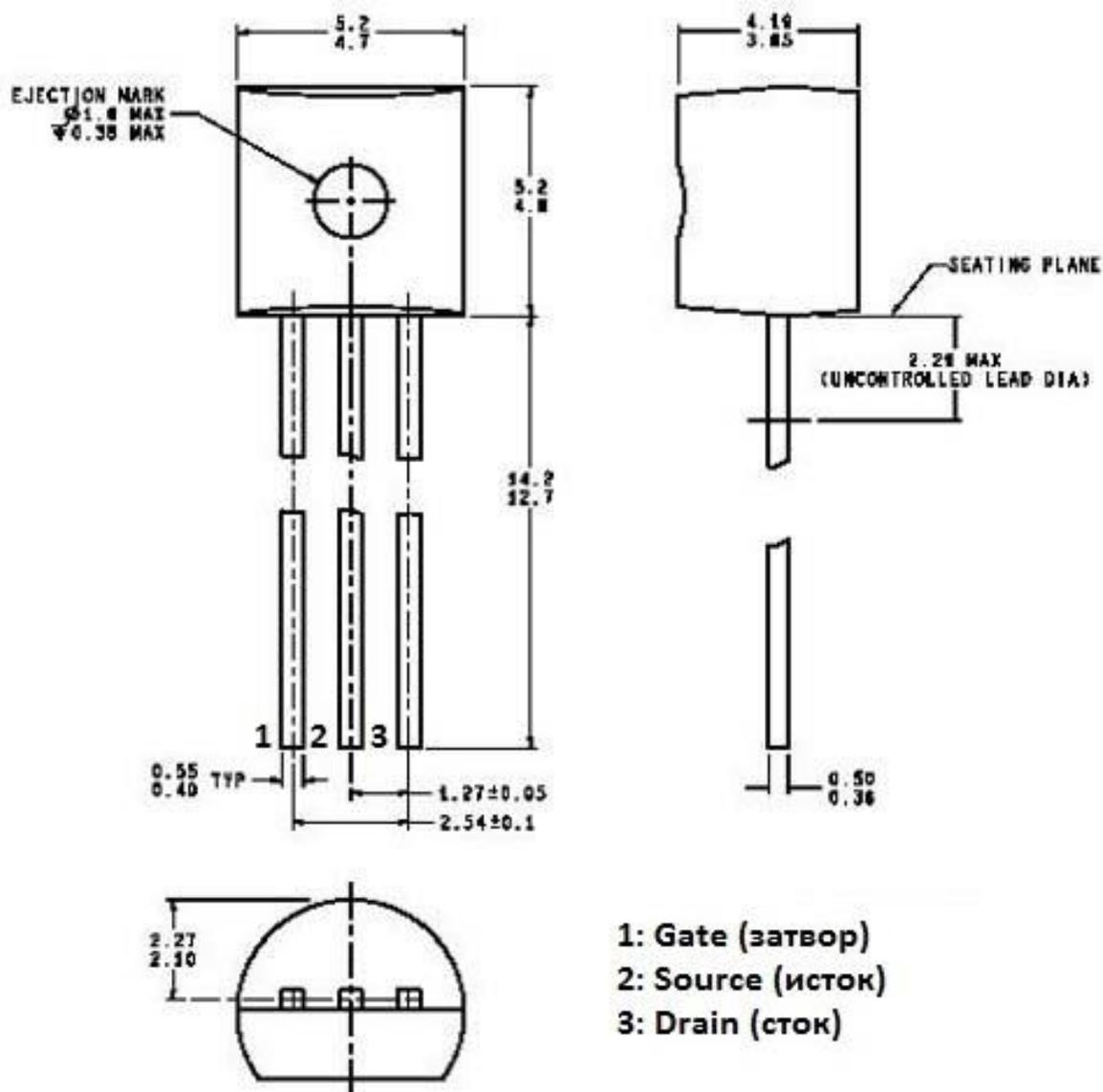


Рисунок 11 – Транзистор 2sk152 в корпусе TO-92

2.5. Схема предварительного усилителя

Выходной сигнал от истокового повторителя передается на предварительный усилитель с усилением 2000 и временем формирования 50 мкс (рисунок 12). Предварительный усилитель состоит из трех каскадов: первый каскад дифференциальный, а второй и третий каскады интегральные.

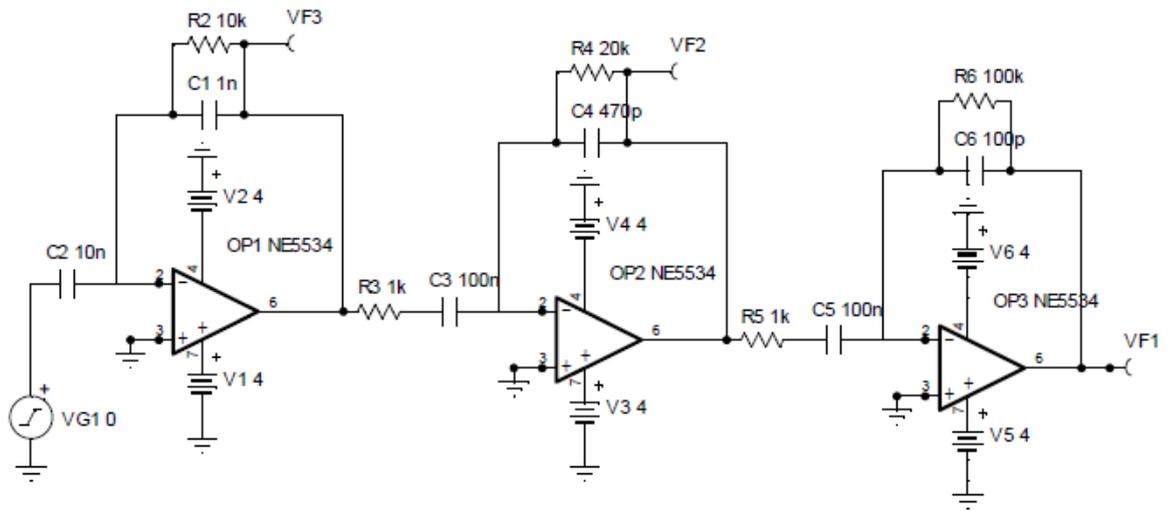


Рисунок 12 – Схема предварительного усилителя [9]

2.6. Операционный усилитель марки NE5534

Операционный усилитель – это электронный усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления, имеющий дифференциальный вход и обычно один выход.

На рисунке 13 показано схематичное обозначение операционного усилителя на схеме.

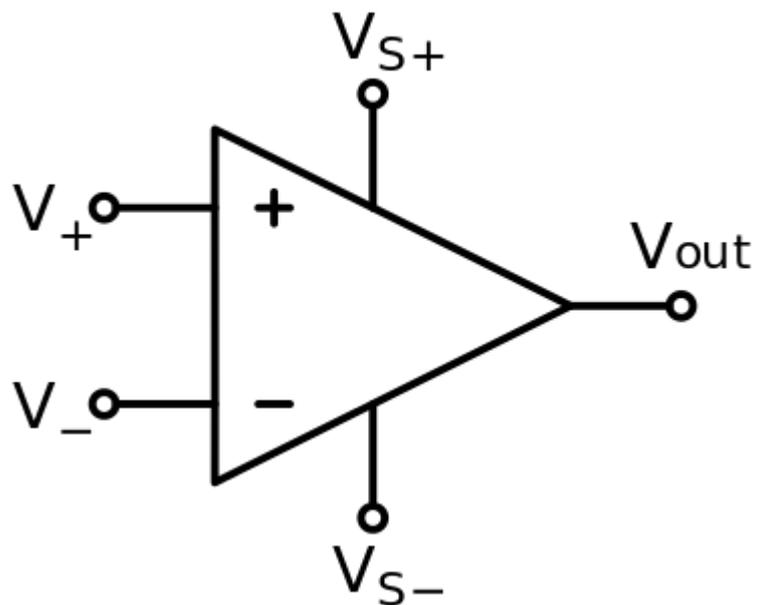


Рисунок 13 – Условное обозначение операционного усилителя

Выводы операционного усилителя имеют следующие обозначения:

- V_+ (IN_+) – неинвертирующий вход;
- V_- (IN_-) – инвертирующий вход;
- V_{S+} (V_{CC+}) – плюс напряжения питания;
- V_{S-} (V_{CC-}) – минус напряжения питания;
- V_{out} – выход;

Два входа операционного усилителя – инвертирующий и неинвертирующий названы так по присущим им свойствам. Если подать сигнал на инвертирующий вход, то на выходе мы получим инвертированный сигнал, то есть сдвинутый по фазе на 180 градусов – зеркальный; если же подать сигнал на не инвертирующий вход, то на выходе мы получим фазово не измененный сигнал.

Коэффициент усиления K равен отношению приращения выходного напряжения (тока) к вызвавшему это приращение входному напряжению (току) при отсутствии обратной связи (ОС).

В данной дипломной работе используется малошумящий, одноканальный, трехкаскадный операционный усилитель марки NE5534, изготовленный в корпусе PDIP-8 (рисунок 14). Состоит из входного п-р-п дифкаскада, промежуточного р-п-р усилителя и выходного п-р-п каскада. Все три каскада являются усилителями напряжения, поэтому NE5534 относится к операционным усилителям типа УН-УН-УН.

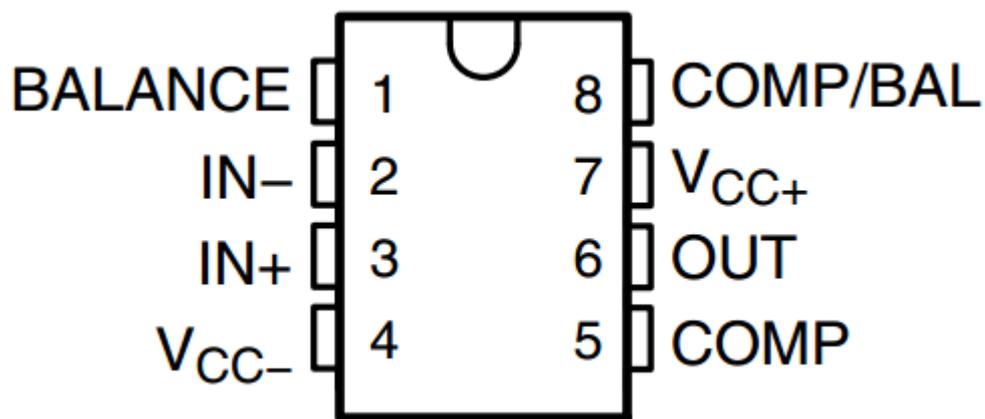


Рисунок 14 – Операционный усилитель NE5534

3. Экспериментальная часть

3.1. Изготовление и сборка печатной платы

На основе схем истокового повторителя (рисунок 9) и предварительного усилителя (рисунок 12) была изготовлена схема печатной платы спектрометра размера 50x30 мм в программе Sprint-Layout (рисунок 15).

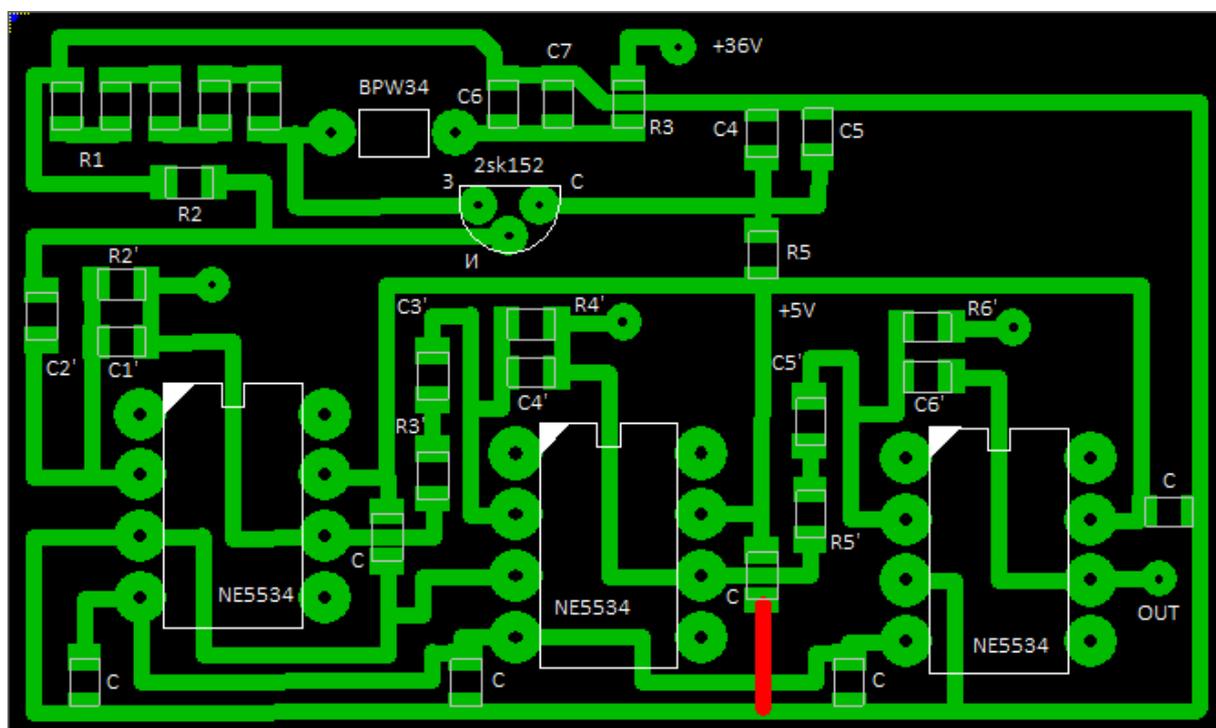


Рисунок 15 – Схема печатной платы спектрометра

В данной схеме использовались резисторы и конденсаторы поверхностного монтажа (SMD) размера 0805. Применение SMD компонентов, благодаря их малым размерам, позволяет значительно увеличить плотность монтажа и уменьшить габариты и вес платы, что способствует снижению общего уровня шума.

Следующим этапом было травление платы и пайка компонентов (рисунки 16, 17).

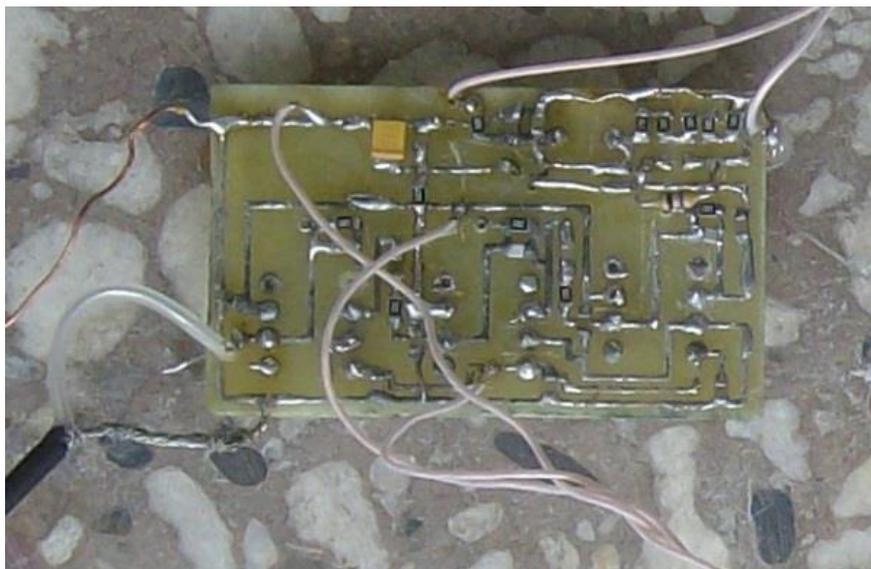


Рисунок 16 – Внутренняя сторона платы

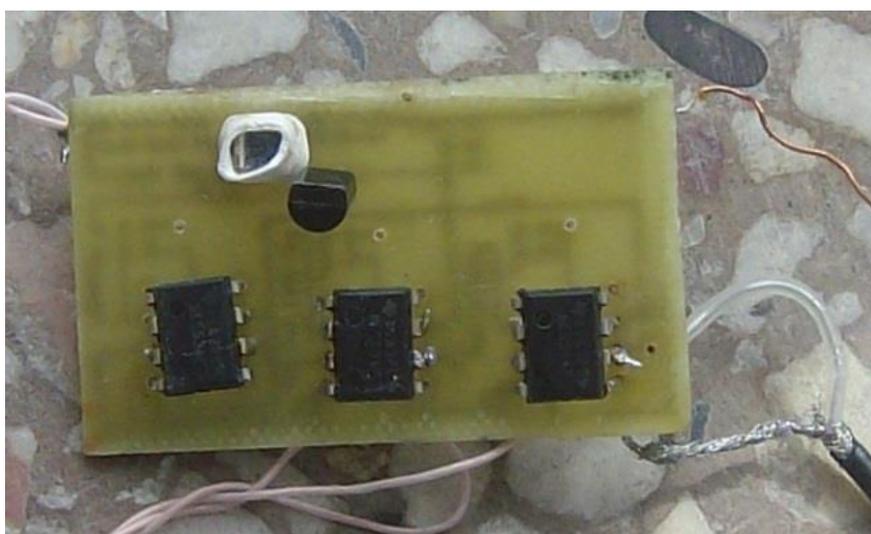


Рисунок 17 – Внешняя сторона платы

3.2 Проверка платы и сборка спектрометра

Для проверки работоспособности платы был использован генератор импульсов Г5-54 и высокостабилизированный блок питания с выходным напряжением 5 В. Проверка осуществлялась на цифровом осциллографе Tektronix TDS 2012, полученные осциллограммы приведены на рисунках 18-21.

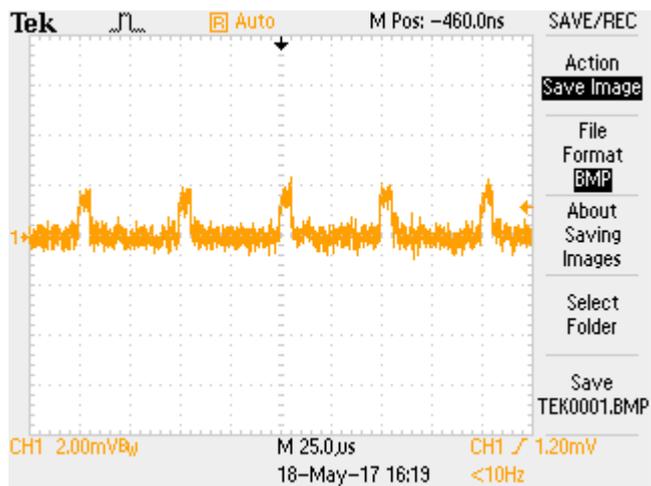


Рисунок 18 – Сигнал на выходе схемы истокового повторителя

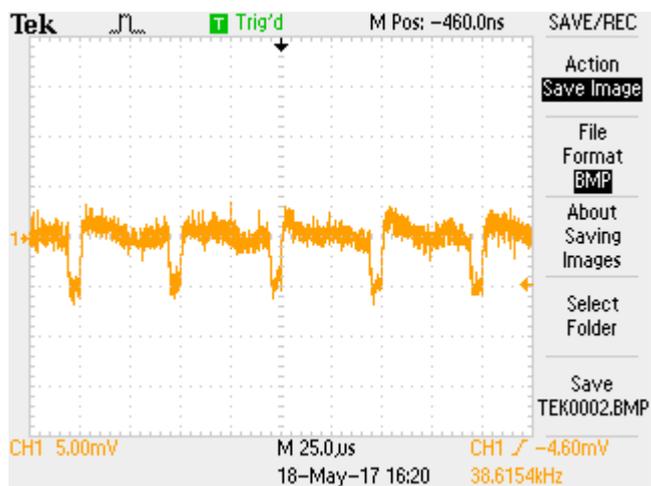


Рисунок 19 – Сигнал на выходе первого ОУ

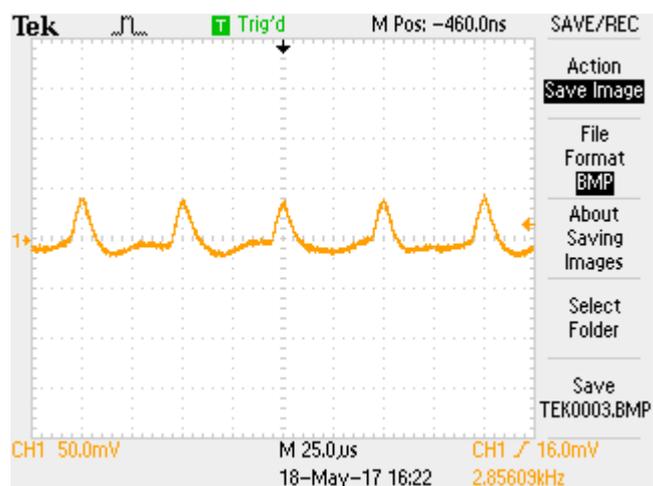


Рисунок 20 – Сигнал на выходе второго ОУ

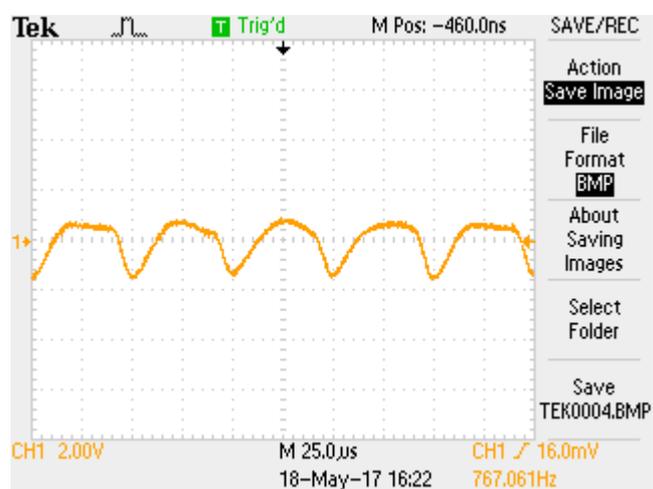


Рисунок 21 – Сигнал на выходе третьего ОУ

После проверки генератор был отключен и к фотодиоду было подключено сдвигающее напряжение 36 В (4 батареи 9 В, типа «Крона»).

Сигнал на выходе последнего операционного усилителя, в результате инвертирования на всех трех усилителях, отрицательный. При такой полярности сигнала, используемые нами спектрометрические аналого-цифровые преобразователи (АЦП) не запускались. Для решения этой проблемы был собран инвертирующий каскад, построенный на инвертирующем усилителе, на выходе схемы. (рисунок 22).

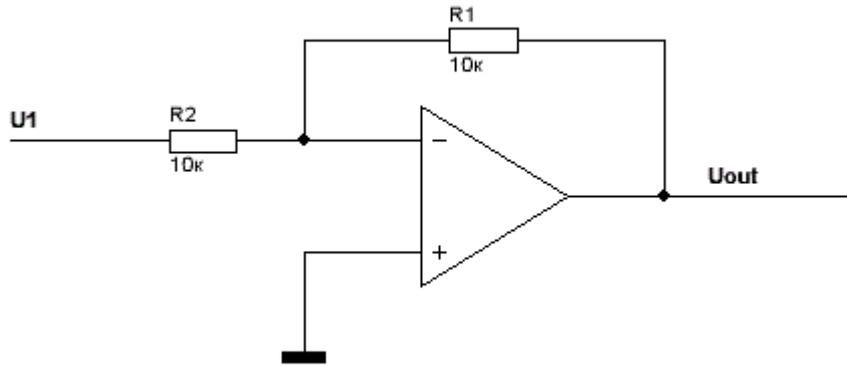


Рисунок 22 – Схема инвертирующего усилителя.

Для проверки работоспособности разработанной печатной платы источником ионизирующего излучения необходимо исключить световое воздействие на фотодиод, а также уменьшить величину паразитных сигналов (шумов). С этой целью плата сначала была обернута листом бумаги (футляр из диэлектрика), в котором было сделано отверстие для окна фотодиода, а затем алюминиевой фольгой. Результаты работы платы представлены на осциллограммах на рисунках 23,24.



Рисунок 23 – Фон

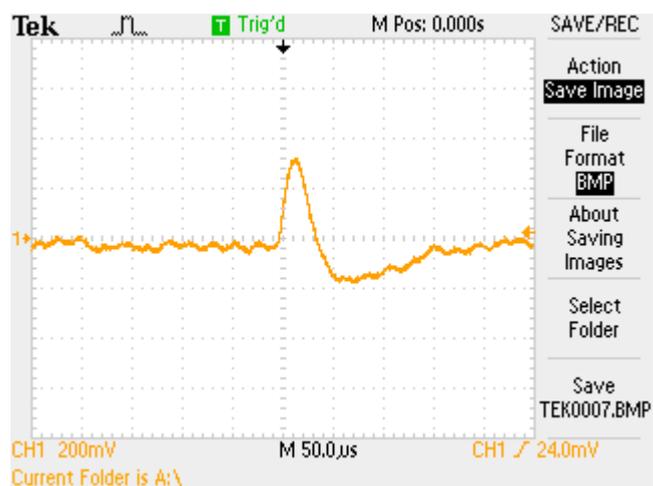


Рисунок 24 – Источник

Следующий этап – сборка спектрометра. Изготовленная плата, обернутая бумагой и фольгой, вместе с питанием 5 и 36 В была подключена к плате АЦП (ООО «Парсек», Дубна, Россия), подключенного к материнской плате компьютера через шину PCI. (рисунок 25).

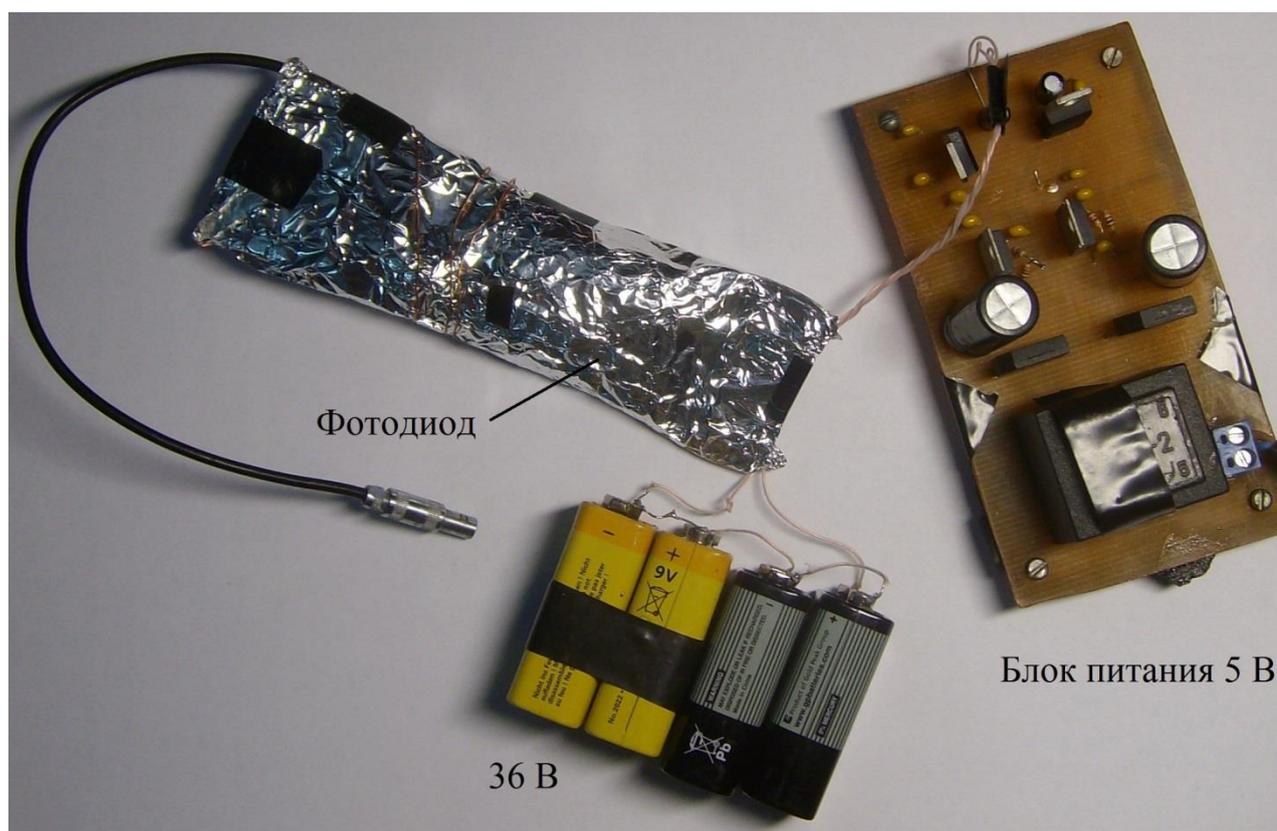


Рисунок 25 – Общий вид полученного спектрометра

3.3. Получение и обработка спектров

Источник ионизирующего излучения располагается над геометрическим центром входного окна фотодиода. Барьер – алюминиевая фольга толщиной 100 мкм. Расстояние источник-детектор – 5 мм. Время экспозиции (живое) – 10 минут. Измерение спектров проводилось в программе Parsec АСР.

Для начала было проведено измерение фона (рисунок 26).

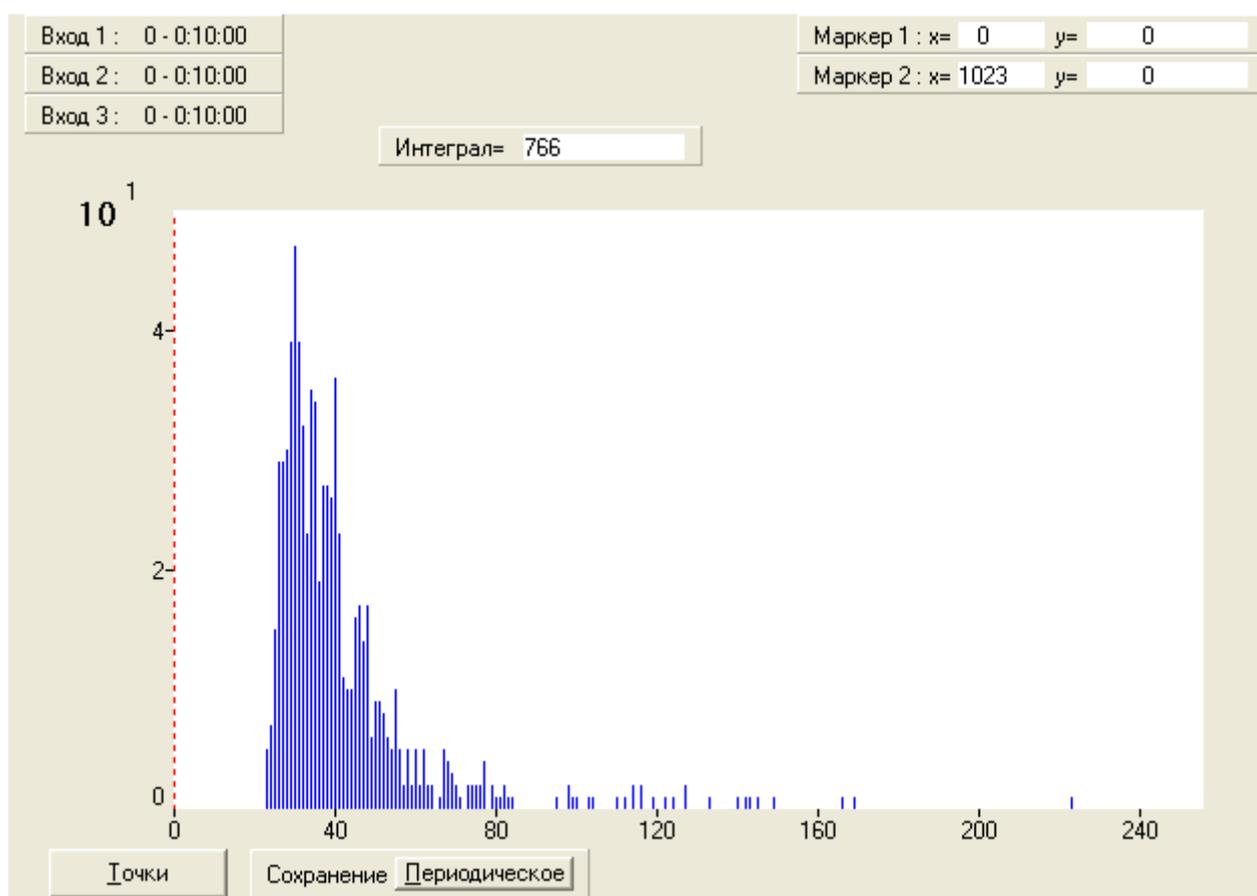


Рисунок 26 – Фоновый спектр

Как видно из рисунка, максимальное число отсчетов 47 «лежит» в 30 канале.

Следующим был измерен спектр америция-241, активность которого на декабрь 2014 года составляла 100 кБк (рисунок 27).

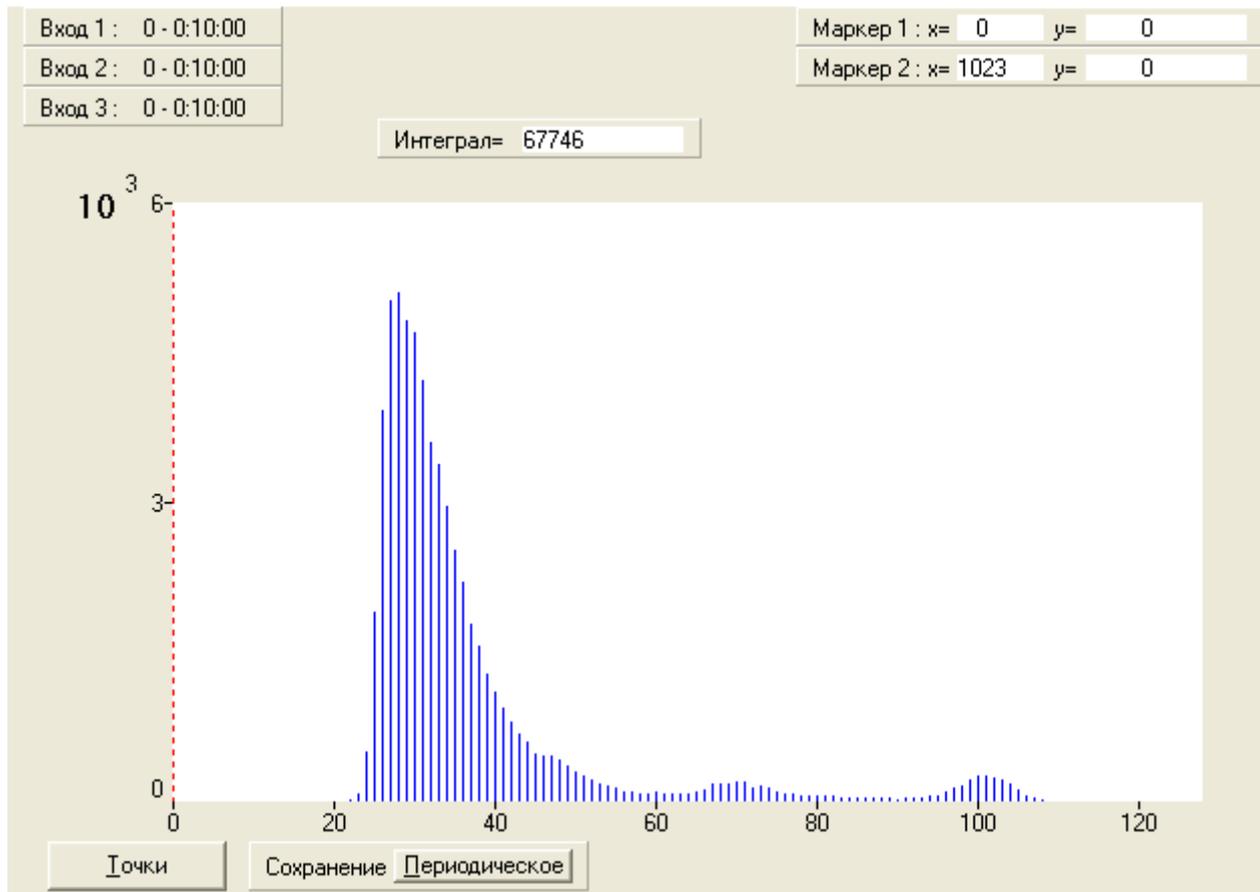


Рисунок 27 – Спектр ^{241}Am

Вершина первого пика находится в 28 канале, число отсчетов составляет 5442. Вершина третьего пика находится в 47 канале, число отсчетов составляет 507. Вершина второго пика находится в 70 канале, число отсчетов составляет 221. Вершина третьего пика находится в 101 канале, число отсчетов составляет 288.

Для сравнения был получен спектр от европия-152, активность которого на декабрь 2014 года, составляла также 100 кБк (рисунок 28).

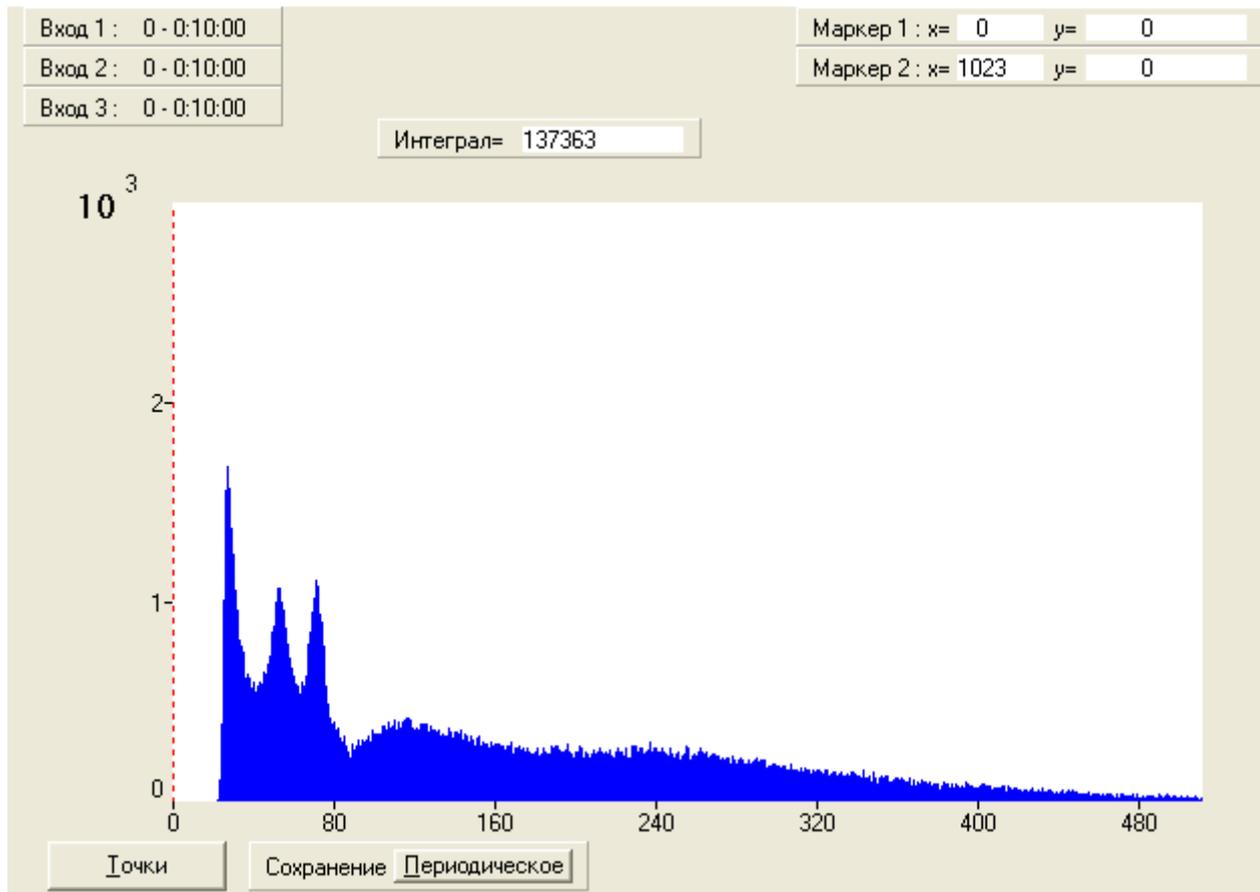


Рисунок 28 – Спектр ^{152}Eu

Вершина первого пика находится в 27 канале, число отсчетов составляет 1793. Вершина второго пика находится в 53 канале, число отсчетов составляет 1145. Вершина третьего пика находится в 71 канале, число отсчетов составляет 1189. Вклад в спектр после 88 канала обеспечен тормозным излучением.

Для наглядности были приведены спектры фона, америция и европия на одном графике от 20 до 110 канала (рисунок 29).

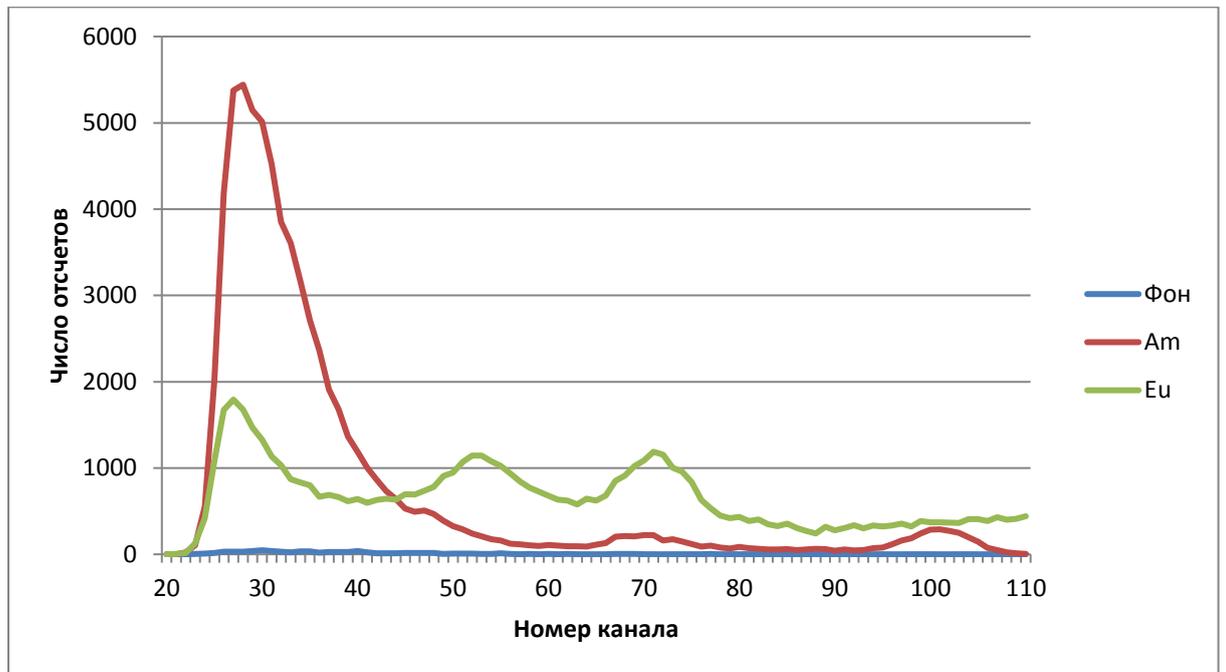


Рисунок 29 – Спектры фона, ^{241}Am и ^{152}Eu

Построение калибровочной прямой проводилось по спектру америция (рисунок 30). Для этого было взято 4 точки: 28 канал, соответствующий пику с энергией 13,9 кэВ, 47 канал, соответствующий пику с энергией 20,8 кэВ, 70 канал, соответствующий пику обратного рассеяния с энергией 48,287 кэВ и 101 канал, соответствующий пику полного поглощения с энергией 59,54 кэВ.

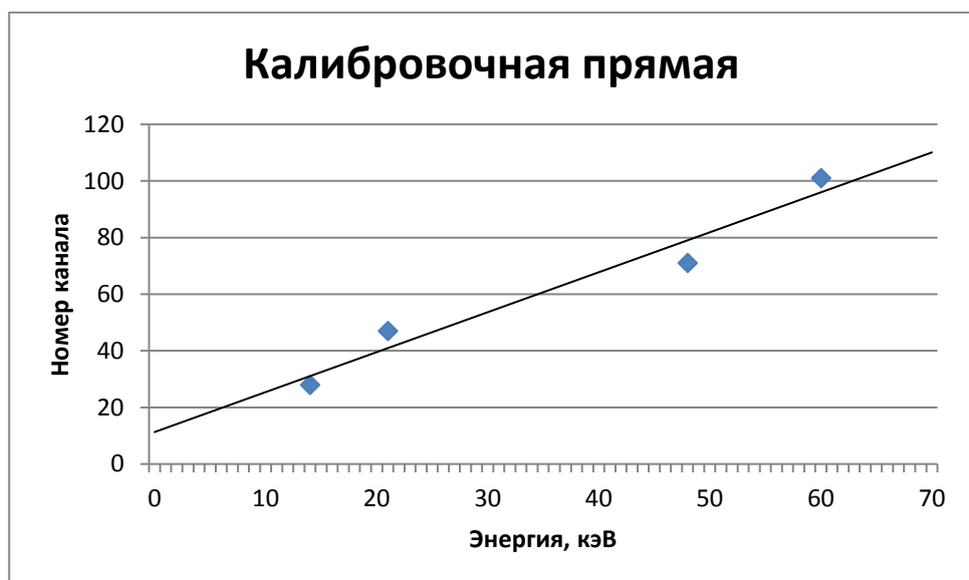


Рисунок 30 – Калибровочная прямая

3.4. Определение характеристик спектрометра

Основным параметром, характеризующим технический уровень спектрометра, является разрешающая способность – способность обнаружить две группы моноэнергетического излучения одного вида. Разрешающую способность количественно оценивают по энергетическому разрешению – величине, обратно пропорциональной разрешающей способности, которая определяется как полная ширина пика на половине высоты. Физический смысл энергетического разрешения заключается в том, что оно определяет, какая минимальная разница в энергиях ΔE должна быть у двух фотонов одинаковой интенсивности, чтобы спектрометр смог их различать. [1]

Относительное энергетическое разрешение определяется как отношение ширины ΔE пика на полувысоте к энергии E данного пика, умноженное на 100%:

$$\eta = \frac{\Delta E}{E} \cdot 100\% \quad (1)$$

Энергия пика обратного рассеяния спектра ^{241}Am равна 48,287 кэВ, что соответствует 70 каналу, ширина данного пика на полувысоте составляет 11 каналов. Значит, энергетическое разрешение равно:

$$\eta = \frac{11}{70} \cdot 100\% = 15,7\%$$

Энергия пика полного поглощения спектра ^{241}Am равна 59,54 кэВ, что соответствует 101 каналу, ширина данного пика на полувысоте составляет 9 каналов. Значит, энергетическое разрешение равно:

$$\eta = \frac{9}{101} \cdot 100\% = 8,9\%$$

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательские работы (НИР) – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции, они включают в себя:

1. фундаментальные исследования, выполняемые с целью расширения научных знаний, явлений и закономерностей их развития безотносительно к их конкретному практическому применению;

2. поисковые исследования, выполняемые с целью нахождения путей использования выявленных явлений и закономерностей в конкретной области науки и техники для создания принципиально новых изделий, материалов и технологий;

3. прикладные исследования, направленные на решение научных проблем, совершенствование методов с целью получения конкретных результатов, используемых в опытно-конструкторских разработках при создании научно-технической продукции (в том числе технических средств обучения).

Перспективность научного исследования определяется не только важностью проделанной работы, но еще не в малой степени зависит и от коммерческой значимости. По этому поводу при пред проектном анализе следует учитывать и экономические стороны выполняемой работы. Оценка экономической стороны проекта поможет оптимально распределить ресурсы, контролировать состояние продвижения работы. Также через такую оценку разработчик может найти партнера для проведения дальнейших научных исследований и предоставить на рынок продукт исследования.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научного проекта, расчет ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической части исследования.

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является разработанный полупроводниковый спектрометр на основе pin-фотодиода, способный регистрировать гамма-излучение.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей.

Целевым рынком данной разработки будет являться научная и образовательная отрасль. В качестве потребителей были выбраны предприятия промышленности и учебные учреждения, заинтересованные в проведении быстрого и дешевого гамма-спектрального анализа (таблица 1).

Таблица 1 – Карта сегментирования

Организации	Гамма-спектрометрия	
	Контроль объектов внешней среды	Контроль излучения от источников ИИ
Научно-исследовательские институты		
Учебные учреждения		

Из карты сегментирования видно, что в разработке полупроводникового спектрометра следует ориентироваться на исследовательские институты и высшие учебные заведения, проводящие эксперименты, связанные с измерением рентгеновского излучения от различных источников при помощи полупроводниковых детекторов.

4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 2. Б – продукт, который является результатом данной работы, $B_{к1}$ и $B_{к2}$ – конкурентные разработки. В качестве конкурентных разработок были приняты: $B_{к1}$ – БДКР-01, производство компании «РАДЭК». $B_{к2}$ – СРТА 141-30 от компании «ЦПТА».

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (2)$$

где

K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из данного анализа видно, что разработанный спектрометр имеет преимущество перед конкурентными разработками за счет того, что является портативным и обладает крайне низкой себестоимостью при стандартном наборе определяющих его параметров. Однако заметной проблемой является слабое проникновение на рынок.

Таблица 2 – 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							
Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Энергоэкономичность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Надежность	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Уровень шума	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Безопасность	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Простота эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
Уровень проникновения на рынок	0,05	2	5	4	0,1	0,25	0,2
Цена	0,05	5	2	4	0,25	0,1	0,2
Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Итого	1	54	58	56	4,25	4,45	4,25

Б_{к1} – БДКР-01, производство компании «РАДЭК». Б_{к2} – СРТА 141-30 от компании «ЦПТА».

4.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

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.

Слабые стороны – 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.

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.

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.

В таблице 3 представлен SWOT-анализ виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота устройства.</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Возможность усовершенствования самим потребителем.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Непривлекательный дизайн.</p> <p>Сл2. Отсутствие инженеринговой компании, способной наладить серийное производство.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Государственное финансирование.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные возможности»:</p> <p>Нужно показать покупателям простоту устройства и сделать упор на портативность и дешевизну.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>Появление компании, которая будет готова построить производство, даст шанс новым потребителям получать устройство в короткие</p>

		сроки.
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологий производства У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: Более низкая стоимость устройства по сравнению с другими аналогами, а также простота обслуживания позволит разработанному спектрометру быть востребованным в отечественных учреждениях.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: Следует повысить характеристики, сделать более привлекательным внешний вид.

Из SWOT-анализа видно, что для реализации данной работы необходимо получить дополнительное инвестирование (получение грантов, субсидий, премиальных и т.д.).

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. В рамках данного этапа строится интерактивная матрица проекта (таблица 4). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. 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 4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	0	0
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	0	-
		Слабые стороны проекта			
		Сл1		Сл2	
Угрозы проекта	У1	+		+	
	У2	0		-	

4.4. Планирование научно-исследовательской работы

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	Разработка ТЗ на ВКР	Руководитель
	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, студент
Выбор направления исследования	Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	Студент

	Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	Руководитель, студент
Теоретические исследования	Разработка схемы устройства	Руководитель, студент
Изготовление	Изготовление платы и сборка устройства	Студент
Тестирование	Проверка устройства	Руководитель, студент
	Проведение эксперимента с регистрацией излучения от источника	Руководитель, студент
	Анализ и обработка полученных данных	Студент
	Расчет характеристик устройства	Студент
	Обобщение и оценка результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР	Оформление пояснительной записки	Студент
	Подготовка к защите ВКР	Студент

4.4.1. Определение трудоемкости выполнения НИОКР

Следующим этапом является определение трудоемкости выполнения НИОКР. Трудоемкость выполнения НИОКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества

трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ используется следующая формула (1):

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

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел.-дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

4.4.2. Разработка графика проведения научного исследования

Затем был разработан календарный план работ. В ходе данной работы был построен ленточный графика проведения НИР в форме диаграмм Гантта.

Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

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.

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} были округлены до целого числа и сведены в таблице 6, на основании которой был построен календарный план-график.

Таблица 6 – Временные показатели проведения научного исследования

Исполнитель	$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{ожид}$	Ψ_i	T_{pi} , раб. дн.	T_k , раб. дн.
Р	1	3	1,8	1	1,8	2,2
РС	2	4	2,8	2	1,4	1,7
С	5	15	9	1	9	11
РС	3	6	4,2	2	2,1	2,6
РС	2	4	2,8	2	1,4	1,7
С	3	7	4,6	1	4,6	5,6
РС	0,5	1	1,9	2	1	1,2
РС	1	3	1,8	2	0,9	1,1
С	1	3	1,8	1	1,8	2
С	3	5	3,8	1	3,8	4,6
Р	1	3	1,8	1	1,8	2,2
С	10	20	10	1	10	12,2
С	5	10	5	1	5	6,1
	37,5	84	51,3	–	44,6	54,4

4.4.3. Календарный план-график в виде диаграммы Гантта

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Гантта. График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы представлен ниже в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исп.	T_{ki}	Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Разработка ТЗ на ВКР	Р	2,2	■											
Составление и утверждение ТЗ	РС	1,7	■											
Сбор и поиск литературы в рамках проекта	С	11		■	■									
Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	РС	2,5			■	■								
Разработка схемы устройства	РС	1,7			■	■								
Изготовление платы и сборка устройства	С	5,6				■	■	■	■	■	■	■	■	■
Проверка устройства	РС	1,2				■	■							
Проведение	РС	1,1				■	■							

эксперимента с регистрацией излучения от источника																				
Анализ и обработка полученных данных	С	2,2																		
Расчет характеристик устройства	С	4,6																		
Обобщение и оценка результатов	Р	2,2																		
Оформление пояснительной записки	С	12,2																		
Подготовка к защите ВКР	С	6,1																		

 – студент;
  – руководитель

Как видно из календарного рейтинг плана, время отведенное на выполнение бакалаврской работы, было распределено равномерно, это позволило упорядочить и облегчить процесс подготовки бакалаврской работы.

4.5. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.5.1. Расчет материальных затрат НИИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5% от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Результаты по данной статье заносятся в таблицу 8.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – кафедра ПФ ТПУ.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за ед., руб	Сумма, руб
1	2	3	4	5
Pin-фотодиод	BPW34	1	20	20
Транзистор	2sk152	1	28	28
Операционный усилитель	NE5534	3	19	57
Резистор	Чип 0805	13	0,5	6,5
Конденсатор	Чип 0805	15	1	15
Конденсатор	Танталовый	1	10	10
Всего				141,5

Затраты на спецоборудование

В данной работе спецоборудование не приобреталось, а использовалось уже имеющееся, поэтому затраты по данной статье калькуляции входят в общую себестоимость в виде амортизационных отчислений, сумма которых определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot C \cdot T_o}{365 \cdot 100\%} \quad (7)$$

где А – амортизационные отчисления, руб.;

С – стоимость используемого оборудования, руб.;

H_A – годовая норма амортизации, %;

T_o – время использования оборудования, сутки.

$$A = \frac{18 \cdot 121742 \cdot 28,8}{365 \cdot 100\%} = 1729 \text{ руб.}$$

Затраты на оборудование составили 1729 рублей.

4.5.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} \quad (8)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (9)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 9)

Таблица 9 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	24
– невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot k_p \quad (11)$$

Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 23264 руб/месяц и районный коэффициент для Томска $k_p = 1,3$, проводится следующим образом:

находим месячный должностной оклад:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot k_p = 23264 \cdot 1,3 = 30243 \text{ руб./месяц};$$

рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$Z_{дн} = \frac{30243 \cdot 10,4}{251} = 1253 \text{ руб./день};$$

рассчитываем основную заработную плату:

$$Z_{осн} = 1253 \cdot 7 = 8771 \text{ руб.}$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы студента.

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc}	k_p	Z_m , руб./месяц	$Z_{дн}$, руб./день	$T_{р,раб.}$ дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23264	1,3	30243	1253	7	8771
Студент	1500	1,3	1950	91	37,6	3422
Итого $Z_{осн}$						12193

4.5.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн} \quad (12)$$

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

На 2016 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 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}}, \quad (13)$$

где $k_{\text{пф}}$ - коэф. отчисления в пенсионный фонд;

$k_{\text{с}}$ - коэф. отчисления страховых взносов;

$k_{\text{пн}}$ - коэф. отчисления в подоходный налог.

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 8771 = 2377$$

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель
Основная заработная плата, руб.	8771
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Сумма отчислений	2377

4.5.5. Затраты на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. В данной выпускной квалификационной работе затраты на командировки равны нулю.

4.5.6. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1. Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями.

2. Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. В данной работе затраты по данной статье расходов отсутствуют.

4.5.7. Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного имущества, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} \quad (14)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1

кВт·ч); P – мощность оборудования, кВт; $F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

ПК:

$$C = 5,8 \cdot 0,3 \cdot 26,4 = 46$$

Паяльник:

$$C = 5,8 \cdot 0,05 \cdot 134,4 = 39$$

Осциллограф:

$$C = 5,8 \cdot 0,03 \cdot 28,8 = 5$$

Генератор импульсов:

$$C = 5,8 \cdot 0,05 \cdot 28,8 = 8,4$$

Затраты на электроэнергию составили 98,4 рубля.

4.5.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	1870,5
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12193
3. Отчисления во внебюджетные фонды	2377
4. Затраты на научные и производственные командировки	–
5. Контрагентные расходы	–
6. Накладные расходы	98,4
Бюджет затрат НИИ	16538,9

Из таблицы видно, что итоговая стоимость проекта будет составлять порядка 17 тысяч рублей, основной вклад в итоговую сумму бюджета вносят затраты на заработную плату.

4.6. Определение ресурсной, 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.

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. 13). В качестве аналога был взят БДКР-01, производство компании «РАДЭК».

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в выпускной квалификационной работе бакалавра технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{16538,9}{149350} = 0,11$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{149350}{149350} = 1$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (16)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 13).

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
Помехоустойчивость	0,15	4	5
Энергосбережение	0,2	5	4
Надежность	0,25	4	5
Материалоемкость	0,15	5	4
Итого:	1	4,5	4,7

$$I_{p-исп1} = 5*0,1 + 4*0,15 + 4*0,15 + 5*0,2 + 4*0,25 + 5*0,15 = 4,45;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,1 + 5*0,15 + 5*0,15 + 4*0,2 + 5*0,25 + 4*0,15 = 4,65;$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \quad (17)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,45}{0,11} = 40,46, \quad I_{исп.2} = \frac{4,65}{1} = 4,65$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (18)$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{40,46}{4,65} = 8,7$$

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,11	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,65
3	Интегральный показатель эффективности	40,46	4,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	8,7

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогом. [10]

5. Социальная ответственность

Важнейшей мерой, направленной на снижение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное введение комплексной системы управления охраной труда. Вместе с тем должно осуществляться повышение качества и эффективности всех средств коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных факторов.

Согласно Федеральному закону от 17.07.1999 №181-ФЗ (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) "Об основах охраны труда в Российской Федерации" введем следующие понятия:

Охрана труда – это система правовых, социально-экономических, организационно-технических, санитарно-гигиенических, лечебно-профилактических мероприятий, реабилитационных и иных мероприятий, обеспечивающих сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме.

Безопасные условия труда – условия труда, при которых воздействие на работающих вредных или опасных производственных факторов исключено либо уровни их воздействия не превышают установленные нормативы.

Рабочее место – место, в котором работник должен находиться или в которое ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя.

Средства индивидуальной и коллективной защиты работников – технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных или опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения.

Производственная деятельность – совокупность действий людей с применением орудий труда, необходимых для превращения ресурсов в готовую продукцию, включающих в себя производство и переработку различных видов сырья, строительство, оказание различных видов услуг. [11]

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

5.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 15 приведены основные элементы, которые формируют опасные и вредные факторы.

Таблица 15 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные Документы
	Вредные	Опасные	
Работа с изотопом для проверки работоспособности детектора	Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне		Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
Работа с ПЭВМ, осциллографом, электропаяльником, генератором импульсов, а также источниками высокого напряжения		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		Пожарная безопасность	Пожарная и взрывная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения;
- пары вредных веществ;
- высокая температура поверхности изделия, инструмента и расплавов припоев.

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статические, динамические);
- нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и с паяльником.

5.2.1. Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

5.2.2. Организация рабочего места

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 31.

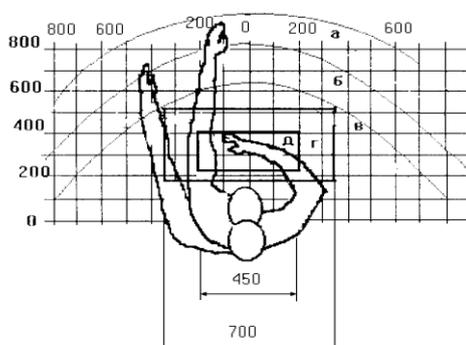


Рисунок 31 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);

- принтер находится в зоне а (справа);
- документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3. Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со [12] и приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20..25 °С, зимой – 13..15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием,

установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля.

Согласно [14] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час.

По нормам [12] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час. Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.2.4. Правила безопасности при работе с паяльником

При работе с паяльником необходимо соблюдать следующие правила:

1. Работники, занятые пайкой паяльником, обязаны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка университета.
2. Работники, занятые пайкой паяльником, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты (перчатки, очки, респираторы, спецодежда).
3. Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при нанесении припоев, флюсов, паяльных паст, связующих и растворителей должны проводиться при действующей общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Системы местных отсосов должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания.
4. Паяльник должен проходить проверку и испытания в сроки и объемах, установленных технической документацией на него.
5. Кабель паяльника должен быть защищен от случайного механического повреждения и соприкосновения с горячими деталями.
6. Для местного освещения рабочих мест при пайке паяльником должны применяться светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работников.
7. На участках приготовления флюсов должны быть водопроводный кран с раковиной и нейтрализующие жидкости для удаления паяльных флюсов, содержащих фтористые и хлористые соли, в случаях их попадания на кожу работника.
8. Рабочие поверхности столов и оборудования на участках пайки паяльником, а также поверхности ящиков для хранения инструментов должны покрываться гладким, легко очищаемым и обмываемым материалом.
9. Использованные при пайке паяльником салфетки и ветошь должны собираться в специальную емкость, удаляться их помещения по мере их

накопления в специально отведенное место.

10. Работник, занятый пайкой паяльником, обязан немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любых ситуациях, угрожающих жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления).

11. Работник, занятый пайкой паяльником, обязан соблюдать правила личной гигиены: перед приемом пищи и после окончания работы вымыть руки теплой водой с мылом. Пищу необходимо принимать в специально оборудованных для этой цели помещениях.

12. Работник, занятый пайкой паяльником, должен уметь оказывать доврачебную помощь пострадавшему.

Работники, занятые пайкой паяльником и не выполняющие требования настоящей инструкции, привлекаются к ответственности согласно действующему законодательству. [19]

5.3. Радиационная безопасность

В любой отрасли человеческой деятельности существуют те или иные опасности для здоровья человека. Для исключения этих опасностей и тем самым для сохранения здоровья человека в каждой отрасли его деятельности разработаны соответствующие правила техники безопасности.

При работе с радиоактивными источниками основная опасность для здоровья человека связана с биологическим действием ионизирующих излучений. Отрасль, занимающаяся разработкой правил безопасной работы с радиоактивными веществами и ионизирующим излучением называется радиационная гигиена. При работе с радиоактивными источниками разработка правил техники радиационной безопасности не самое легкое дело. Это обусловлено спецификой биологического действия ионизирующих излучений

на организм человека:

- у человека нет органов чувств, которые бы воспринимали ионизирующее излучение;
- физиологическое действие ионизирующих излучений на человека не проявляется сразу, а по истечении, часто, длительного времени;
- генетическое, мутационное действие излучений может проявиться только в последующих поколениях.

На основе многолетнего опыта и научных исследований ученые, работающие в области медицинской радиобиологии и радиационной гигиены, разработали рациональные принципы и правила радиационной безопасности. Пренебрежение правилами техники радиационной безопасности, несоблюдение этих правил грозит человеку опасностью лучевого поражения.

В общем виде можно указать следующие основные принципы техники радиационной безопасности [17]:

1. К работе с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями допускаются лица, достигшие 18 лет, которые прошли специальное медицинское обследование состояния здоровья и были признаны по результатам этого обследования пригодными к указанной работе. Беременные женщины к таким видам работ не допускаются.

2. Перед началом работы с радиоактивными веществами и ионизирующим излучением в зависимости от технического и научного уровня и характера работ каждый работник должен пройти специальное обучение и сдать соответствующий экзамен по технике радиационной безопасности.

3. Все работы с радиоактивными веществами и ионизирующим излучением должны проводиться в условиях строжайшего соблюдения правил радиационной безопасности при наличии постоянного контроля со стороны лиц, ответственных за радиационную безопасность в данном учреждении.

4. В помещениях, где проводятся работы с радиоактивными

веществами, запрещается:

- пребывание работников без необходимых средств индивидуальной защиты (халаты, комбинезоны, костюмы, тапочки, ботинки, перчатки, противопылевые респираторы);
- хранение пищевых продуктов, табачных изделий, косметики, домашней одежды и других предметов, не имеющих прямого отношения к выполняемым работам;

Радиоактивные изотопы, с которыми приходится иметь дело в лабораториях, могут находиться как в открытом, так и в закрытом (герметизированном) состоянии.

В работе использовались закрытые источники ионизирующего излучения: радионуклиды ^{241}Am и ^{152}Eu .

Радиоактивные изотопы, находящиеся в закрытом виде, создают опасность для человека только через внешнее облучение. Поэтому техника радиационной безопасности в этом случае сводится к следующему:

- надлежащему экранированию радиоизотопного источника ионизирующего излучения;
- сокращению работы с ним;
- использованию дистанционных манипуляционных инструментов в случае необходимости проведения каких-либо перемещения источника.

В лаборатории осуществляется личный и общий дозиметрический контроль, для чего во всех помещениях, где это нужно, устанавливаются стационарные и переносные дозиметрические приборы. Для проведения общего дозиметрического контроля в лаборатории специально выделяется ответственное лицо.

Согласно [18] предельно допустимая доза для персонала группы Б составляет 5 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более

12,5 мЗв в год.

Все места, в которых ведутся радиоактивные работы, должны быть отмечены знаками радиационной опасности, а все радиоактивные растворы и препараты должны быть надписаны. Работающие с радиоактивными источниками обязаны обеспечивать надежную защиту от облучения для окружающих. [18]

5.4. Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электроустановками и приборами в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Также в работе использовали: паяльную станцию, цифровой осциллограф и генератор импульсов.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под

напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);

- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействие.

Тепловое (термическое) действие проявляется в виде ожогов участка кожи, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон.

Химическое (электролитическое) действие ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме человека растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма.

Биологическое действие проявляется в опасном возбуждении живых клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от:

1. параметров электрического тока, протекающего через тело человека (величины напряжения, частоты, рода тока приложенного к телу);
2. пути тока через тело человека (рука-рука, рука-нога, нога-нога, шея-ноги и др.);
3. продолжительность воздействия тока через тело человека;
4. условий внешней среды (влажности и температуры);
5. состояния организма человека (толщины и влажности кожного покрова, состояния здоровья и возраста).

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 17.

Таблица 17 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

Род тока	U, В	I, mA
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. [14]

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- Отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
 - вывешивание плакатов, указывающих место работы;
 - заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
 - покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
 - недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
- применение средств защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

5.5. Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [13], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную

эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [15]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание

оборудования.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был изготовлен, собран и проверен полупроводниковый спектрометр фотонного излучения на основе pin-фотодиода. На полученном приборе были произведены измерения спектров фона, ^{241}Am и ^{152}Eu . На основе спектра америция была построена калибровочная прямая и рассчитано энергетическое разрешение спектрометра.

Схема, предложенная авторами статьи [9], послужившая прототипом для данной работы, была усовершенствована, после чего удалось уменьшить энергопотребление с 5 до 1,5 Вт и добиться стабильности измерительного тракта при больших нагрузках средних и больших энергий (^{241}Am и ^{152}Eu , активностью 100 кБк на декабрь 2014 года).

Разработанный спектрометр получился малогабаритным, бюджетным и с хорошим энергетическим разрешением (8,9%).

Список используемых источников

1. В. В. Кашковский. Специальный физический практикум: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 404 с.
2. Дж. Дирнли, Д. Нортроп. Полупроводниковые счетчики ядерных излучений. – М.: Мир, 1966 – 359 с.
3. В. И. Бойко, М. Е. Силаев. Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 355 с.
4. Ю. А. Цирлин, М. Е. Глобус, Е. П. Сысоева. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными детекторами. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 152 с.
5. В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. Электроника: учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 622 с.
6. С. М. Рывкин, О. А. Матвеев, Н. Б. Строкан. Полупроводниковые счетчики ядерных частиц. – Л.: Об-во «Знание», 1964. – 40 с.
7. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 671 с.
8. Kainka V. Measure Gamma Rays with a Photodiode. Radiation detector using a BPW34 // Elektor Magazine, 2011, No. 6, pp.22-26.
9. M. A. Khazhmuradov, N. A. Kochnev, D. V. Fedorchenko. PIN Photodiodes For Gamma Radiation Measurements // RadioElectronics & Informatics, 2012, № 4.
10. И. Г. Видяев, Г. Н. Серикова, Н. А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2014 – 36 с.
11. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. №181-ФЗ (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря

2005 г.).

12. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».

13. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

14. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.

15. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность.

16. Инструкция по охране труда при проведении радиомонтажных и настроечных работ на кафедре Прикладной физики (ПФ).

17. «Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников» (НП-038-11), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.03.2011 г № 104.

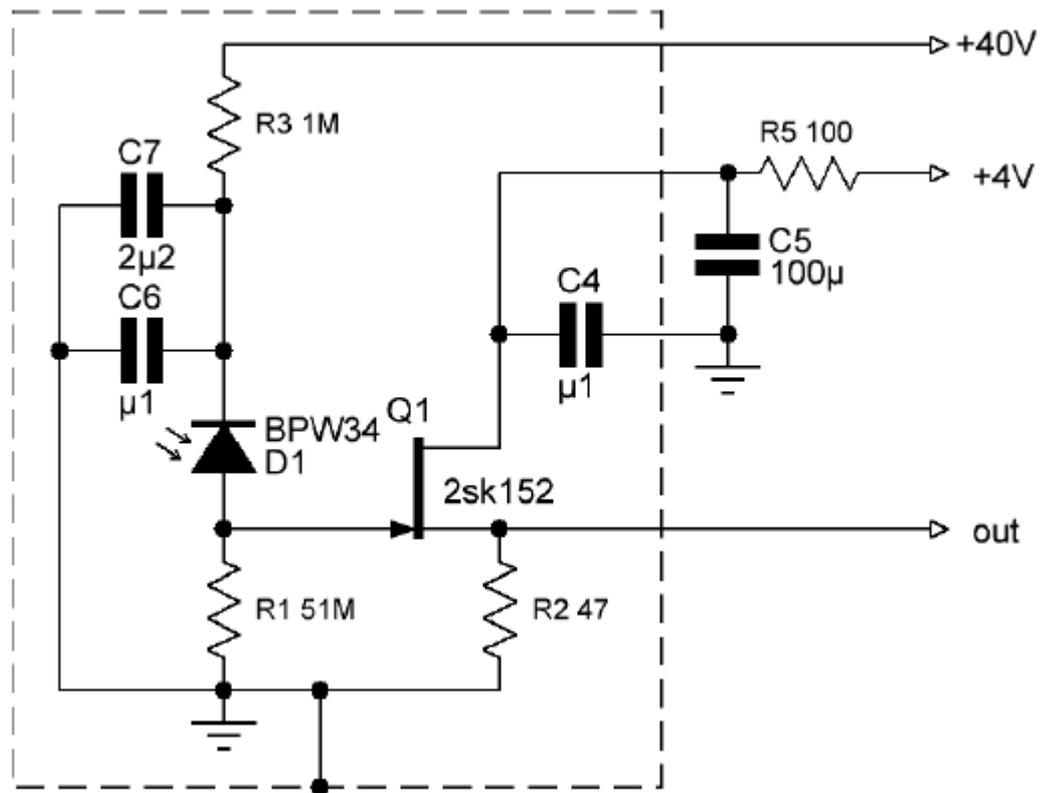
18. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.

19. ИНСТРУКЦИЯ № 5-13 по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником, кафедры Прикладная физика (ПФ) (ТИ Р М-075-2003).

Приложение А

(обязательное)

Схема истокового повторителя



Приложение Б

Схема предварительного усилителя

