

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

Институт – Физико-технический

Направление – Ядерные физика и технологии

Кафедра – Электроника и автоматика физических установок

Специальность – Электроника и автоматика физических установок

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
РАЗРАБОТКА 4x4-КАНАЛЬНОГО СЧЁТЧИКА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯТОРА ZnS/Li И ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УЧЁТА ВЛИЯНИЯ НА ЕГО РАБОТУ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

УДК 539.125.5.074:621.385.83:621.387.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Столповский А. Е.		

Руководители

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ИЯФ АНЧР	Кушпиль В. В.	д-р техн. наук		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. науч. с.	Кушпиль С. А.	д-р физ. мат. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По научно-техническим вопросам

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ЭАФУ	Горюнов А. Г.	д-р техн. наук, доцент		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е. В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Д. В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А. Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
Р2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.
Р3	Самостоятельно, методически правильно применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения

	адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
P5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт,

	методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.
P8	Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P9	Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.
P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и

	узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.
P12	Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических

	средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P13	Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.
P14	Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.
P15	Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных

	работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.
--	---

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

Институт – Физико-технический

Направление – Ядерные физика и технологии

Кафедра – Электроника и автоматика физических установок

Специальность – Электроника и автоматика физических установок

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ

_____ А.Г. Горюнов

«12» октября 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0712	Столповскому А. Е.

Тема работы:

Разработка 4x4-канального счётчика тепловых нейтронов на основе сцинтиллятора ZnS/Li и твердотельного фотоумножителя с возможностью учёта влияния на его работу гамма излучения

Утверждена приказом директора ФТИ

от 31.10.2016 № 9286/с

Дата сдачи студентом выполненной работы

25 января 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
-------------------------------------	--

4x4-канальный счётчик тепловых нейтронов на основе сцинтиллятора ZnS/Li и твердотельного фотоумножителя; максимальный флюенс нейтронов 10^{14} н/см ² ; периодический режим работы;
--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор существующих разработок в области нейтронного детектирования; разработка электрических схем прототипа счётчика нейтронов; выбор и программирование устройства счёта для разработанного прототипа; экспериментальное исследование влияния нейтронного излучения на сенсорные элементы счётчика.
Перечень графического материала	Схема электрическая функциональная и схема электрическая принципиальная прототипа нейтронного счётчика, блок-схемы разработанных программ.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е. В.
Социальная ответственность	ассистент, Акимов Д. В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 октября 2016 г.
---	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ИЯФ АНЧР	Кушпиль В. В.	д-р техн. наук		12.10.16

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Столповский А. Е.		12.10.16

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 169 с., 88 рис., 21 табл., 55 источников, 13 приложений.

СЧЕТЧИК ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ, ЛАВИННЫЙ ФОТОДИОД, КРЕМНИЕВЫЙ ФОТОУМНОЖИТЕЛЬ, СИСТЕМА НА КРИСТАЛЛЕ, УСИЛИТЕЛЬ, ДЕТЕКТОР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СТРУКТУР, ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ, СХЕМА АНТИСОВПАДЕНИЙ

Объект разработки — многоканальный счётчик тепловых нейтронов с возможностью учёта влияния на его работу гамма-излучения.

Цель работы — разработка прототипа многоканального счётчика нейтронов.

Для достижения цели решаются следующие задачи: выбор усилительных схем, выбор и программирование счётного устройства, исследование характеристик сенсорных элементов разрабатываемого счётчика, разработка электрических схем, проектировка печатных плат, сборка и проверка устройства на работоспособность.

В процессе выполнения работы проводилось моделирование усилительных каскадов, используемых в подобных детекторах, разрабатывалась схема устройства и программное обеспечение для счётного блока устройства, исследовались характеристики сенсорных элементов и их изменения после продолжительного облучения нейтронами.

Результаты дипломного проекта будут использованы для дальнейшей разработки устройства и определения его эффективности.

Для визуализации экспериментальных данных и создания физико-математических моделей применялся программный пакет *ROOT Framework 6*.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.2.048–80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования».

ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

мультипиксельный лавинный фотодиод: кремниевый фотоумножитель, устройство, предназначенное для счёта фотонов, представляющее собой набор параллельно соединённых микро-ячеек лавинных фотодиодов;

сцинтиллятор: специальное вещество, способное излучать видимый свет при контакте с радиацией;

***SPICE*:** программа с открытым исходным кодом, предназначенная для моделирования схем электроники

В данной работе применены следующие сокращения:

материал, хорошо взаимодействующий с нейтронами; МВН

мультипиксельный лавинный фотодиод; МЛФД

высокочастотный; ВЧ

отношение сигнала к шуму; ОСШ

система на кристалле; СнК

вольт-амперная характеристика; ВАХ

вольт-фарадная характеристика; ВФХ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	18
1 Теоретическая часть.....	20
1.1 Общие сведения о принципах регистрации нейтронов.....	20
1.2 Краткий обзор некоторых типов нейтронных детекторов.....	22
1.2.1 Газовые детекторы.....	22
1.2.2 Сцинтилляторы, содержащие бор и литий.....	23
1.2.3 Планарные полупроводниковые детекторы.....	24
1.2.4 Другие типы детекторов.....	26
1.2.5 Сравнение рассмотренных типов детекторов нейтронов.....	27
1.3 Описание проектируемого счётчика и его составных элементов...29	
1.3.1 Обоснование выбора типа проектируемого счётчика.....	29
1.3.2 Описание структуры сенсорного элемента счётчика.....	30
1.3.3 Описание и принцип работы мультипиксельного лавинного фотодиода.....	31
1.3.4 Описание и принцип работы <i>PIN</i> -фотодиода.....	32
1.3.5 Описание структуры проектируемого счётчика.....	33
2 Практическая часть.....	34
2.1 Моделирование и выбор усилителей.....	34
2.1.1 Моделирование сигнала <i>PIN</i> -фотодиода.....	34
2.1.2 Усилители в канале детектирования гамма-излучения.....	38
2.1.3 Моделирование сигнала МЛФД.....	41
2.1.4 Усилители для счётчика тепловых.....	49
2.2 Разработка программного обеспечения.....	52
2.2.1 Программное обеспечение для <i>PSoC 4100</i>	53
2.2.2 Программное обеспечение для <i>PSoC 5LP</i>	58
2.2.3 Отладка программ для <i>PSoC</i>	59
2.2.4 Разработка программы для ЭВМ.....	60
2.3 Описание разработанного прототипа.....	62

2.4 Итоги раздела.....	64
3 Экспериментальная часть.....	66
3.1 Описание структуры прототипов сенсорных элементов.....	66
3.2 Исследование характеристик и обоснование структуры прототипов сенсорных элементов.....	67
3.2.1 Исследование различных соединений МЛФД <i>Sensl C-Series</i> ...	68
3.2.2 Исследование характеристик соединений <i>PIN</i> -фотодиодов <i>BPW34</i>	71
3.2.3 Общие выводы подраздела.....	73
3.3 Исследование прототипов.....	74
3.3.1 Выбор рабочей точки МЛФД+ $\text{ZnS} \cdot ^6\text{Li}$	74
3.3.2 Выбор рабочей точки прототипа чувствительного элемента гамма-детектора.....	76
3.3.3 Описание экспериментальной установки.....	78
3.3.4 Описание источников излучения.....	80
3.3.5 Характеристики сигналов.....	80
3.4 Испытание прототипа счётчика в нейтронном поле.....	85
3.4.1 Описание циклотрона <i>U-120M</i>	86
3.4.2 Описание установки и условий эксперимента.....	88
3.4.3 Полученные результаты.....	91
3.4.4 Анализ полученных результатов.....	95
3.5 Исследование деградации полупроводниковых сенсоров.....	99
3.5.1 Оценка флюенса нейтронов.....	100
3.5.2 Изменение характеристик <i>PIN</i> -фотодиодов.....	101
3.5.3 Изменение профиля легирования <i>PIN</i> -фотодиодов.....	102
3.5.4 Изменение свойств прототипа сенсорного элемента нейтронного счётчика.....	110
3.6 Обработка экспериментальных данных.....	113
3.7 Общие выводы по разделу.....	114
3.7.1 Созданные прототипы.....	114

3.7.2 Облучение прототипов нейтронами.....	115
4. Социальная ответственность.....	117
4.1 Введение.....	117
4.2 Характеристика вредных и опасных факторов, имеющих место в лаборатории.....	119
4.3 Организация мероприятий по электробезопасности.....	119
4.4 Требования безопасности при работе видеотерминалов и ПЭВМ.....	122
4.4.1 Эргономика и организация рабочего места.....	122
4.4.2 Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения.....	123
4.4.3 Мероприятия по борьбе с производственным шумом.....	125
4.4.4 Мероприятия по радиационной безопасности.....	125
4.4.5 Мероприятия по выполнению норм вентиляции и отопления.....	129
4.4.6 Мероприятия по пожарной безопасности.....	129
4.5 Мероприятия по охране окружающей природной среды.....	130
4.6 Выводы по разделу.....	130
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	132
5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	132
5.2 <i>SWOT</i> -анализ.....	134
5.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	135
5.4 Инициация проекта.....	137
5.5 План проекта.....	139
5.6 Бюджет научного исследования.....	141
5.6.1 Расчёт стоимости материальных затрат.....	141
5.6.2 Расчёт стоимости затрат на специальное оборудование.....	142
5.6.3 Расчёт заработной платы работников.....	143

5.6.4 Расчёт отчислений на социальные нужды.....	146
5.6.5 Расчёт потребляемой электроэнергии.....	146
5.7 Группировка затрат по статьям.....	146
5.8 Реестр рисков проекта.....	148
5.9 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	149
Заключение.....	151
Список используемых источников.....	153
Приложение А Схема проектируемого счётчика тепловых нейтронов.	158
Приложение Б Принципиальная схема усилителя для гамма-счётчика.	159
Приложение В Принципиальная схема усилителя для гамма-счётчика	160
Приложение Г Принципиальная схема усилителя для нейтронного счётчика.....	161
Приложение Д Принципиальная схема усилителя для нейтронного счётчика.....	162
Приложение Е Блок-схемы программ.....	163
Приложение Ж Схема программы для двухканального счётного устройства.....	165
Приложение К Схема программы для четырёхканального счётного устройства.....	166
Приложение Л Функциональная схема прототипа нейтронного счётчика.....	167
Приложение М Принципиальная схема прототипа нейтронного счётчика.....	168
Приложение Н Список компонентов.....	169
Приложение П Схемы разведенных плат.....	171
Приложение Р Графический материал.....	172
CD-диск в конверте на обороте обложки:	
643.ФЮРА.00023-01-12-01 Файл ПО_PSoC.txt	
643.ФЮРА.00023-01-12-02 Файл ПО_GUI.txt	
643.ФЮРА.00023-01-12-03 Файл ПО_MODEL.txt	

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку нейтроны электрически нейтральны, они в основном взаимодействуют с ядрами атомов. Области применения нейтронов связаны со структурным анализом, определением типов кристаллических решеток или структур макромолекул веществ. В связи с этим они нашли широкое применение в медицине, материаловедении и других научных отраслях.

Важной составляющей любого исследования, связанного с применением нейтронов, является контроль их потока. Нейтроны взаимодействуют не только с анализируемым образцом, но и со средой, в которой он находится. И если в эксперименте изначально используются быстрые нейтроны, то по прошествии некоторого времени в результате многочисленных нейтронных реакций, в помещении образуются нейтронные поля частиц, энергии которых варьируются в широком диапазоне.

Известно, что тепловые нейтроны имеют большое сечение взаимодействия с ядрами атомарного вещества. В то же время, при взаимодействии быстрых нейтронов со средой, образуется некоторое количество вторичных тепловых и надтепловых нейтронов, часть которых тоже может взаимодействовать с ядрами атомов исследуемого образца. Это означает, что для оценки достоверности данных, полученных при исследованиях, связанных с быстрыми нейтронами, важно иметь представление о количестве тепловых нейтронов, образующихся во время экспериментов.

На протяжении многих лет остается актуальной проблема развития принципов и методов детектирования тепловых нейтронов. В настоящее время интенсивно развиваются и улучшаются полупроводниковые нейтронные детекторы, представляющие выгодную альтернативу широко распространенным газовым счётчикам.

					<i>ФЮРА.4 12126.018ПЗ</i>			
<i>Изм/Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Введение</i>		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Столповский</i>							
<i>Провер.</i>	<i>Кушпиль В.</i>							
<i>Консул.</i>	<i>Кушпиль С.</i>							
<i>Н. конт.</i>	<i>Ефремов</i>							
<i>Утв.</i>	<i>Горюнов</i>					<i>ТПУ</i>	<i>ФТИ</i>	
						<i>Группа</i>	<i>0712</i>	

Целью данной работы является разработка счётчика тепловых нейтронов, сочетающего в себе такие параметры, как относительная дешевизна и высокая эффективность. В качестве основного сенсорного элемента данный счётчик использует мультипиксельный лавинный фотодиод, технологии производства которого бурно развиваются в настоящее время. Уникальность счётчика заключается в том, что его составной чувствительный элемент позволяет регистрировать гамма-излучение и учитывать его влияние на показания прибора.

При проектировании использовались типовые в данной области решения. Существующие исследования и теоретические расчёты схожих структур сенсорных элементов явились основанием для того, чтобы расставить приоритеты в данной дипломной работе в пользу практической и экспериментальной её частей.

В работе решаются следующие задачи:

- анализ существующих усилительных схем для подобных устройств и выбор оптимального решения;
- выбор схемотехнического исполнения счётного устройства на основе микроконтроллера и разработка программного обеспечения для него;
- создание приложения для ЭВМ с графическим интерфейсом пользователя для контроля работы счётчика;
- исследование характеристик составного чувствительного элемента счётчика;
- анализ влияния воздействия ионизирующего излучения на элементы, составляющие проектируемое устройство и поиск методов их защиты и коррекции.

Результатом работы является разработанный прототип нейтронного счётчика, предназначенный для дальнейших исследований. Дополнительно в результате выполнения работы было создано несколько вариантов программного обеспечения для систем различной сложности, выполняющих функции счётного устройства.

1 Теоретическая часть

1.1 Общие сведения о принципах регистрации нейтронов

Нейтроны регистрируются косвенно, по продуктам реакций их взаимодействия с веществом. В связи с этим практически каждый детектор состоит из вещества, интенсивно взаимодействующего с нейтронами и устройства регистрации ионизирующего излучения [1].

Так как энергии нейтронов варьируются в широком диапазоне (от 10^{-3} эВ до более чем 10^2 МэВ [1]), а сечения реакций взаимодействия для веществ во многом определяется энергией нейтрона, существует большое количество различных методик регистрации нейтронов, предназначенных для определенных областей энергий этих частиц (различают тепловые, надтепловые, резонансные и быстрые нейтроны).

Материалы, преобразующие нейтронное излучение в электромагнитное или ионизирующее, должны удовлетворять следующим критериям [2]:

1 их сечения взаимодействия с нейтронами определенных энергий должны быть высокими (особенно важно для газовых детекторов);

2 они должны изготавливаться из оптически изотропных природных элементов, либо позволять недорогую технологию получения изотропных свойств;

3 энергия реакций, характерных для данных материалов, должна быть достаточно высока для того, чтобы отсеивать события поглощения гамма излучения, всегда присутствующего в нейтронных полях;

4 продукты реакций взаимодействия нейтронов с данными материалами должны иметь достаточно большую энергию, чтобы добраться до чувствительной области детектора.

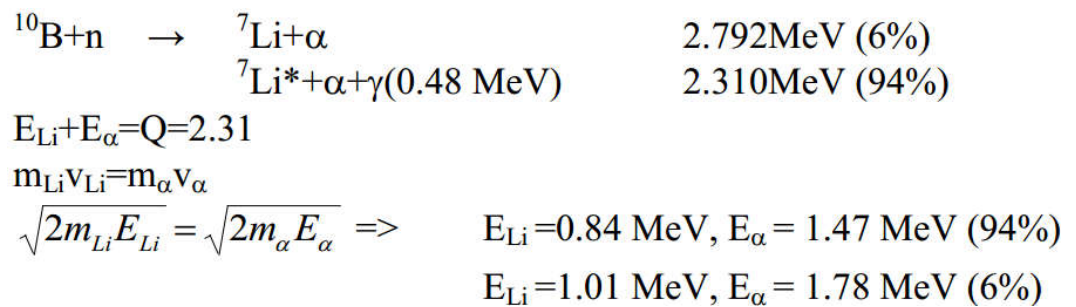
Все реакции, которые можно использовать для детектирования нейтронов в общем можно описать следующим образом.

					ФЮРА.4 12126.018ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Теоретическая часть	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Столповский							
Провер.	Кушпиль В.							
Консул.	Кушпиль С.					ТПУ		ФТИ
Н. конт.	Ефремов					Группа		0712
Утв.	Горюнов							

$$\text{целевое ядро} + \text{нейтрон} = \begin{cases} \text{ядро отдачи} \\ \text{протон} \\ \text{альфа-частица} \\ \text{осколок деления} \\ \text{электроны внутренней конверсии} \\ \text{гамма-фотоны} \end{cases}$$

Самые распространённые реакции, используемые для регистрации нейтронов во многих нейтронных детекторах [3]:

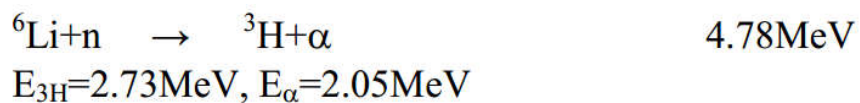
$^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)$



Микросечение захвата нейтронов: $\sigma = 3842 \text{ бн}$ (0,0253 эВ).

В природном боре содержится 19,8 % изотопа ^{10}B .

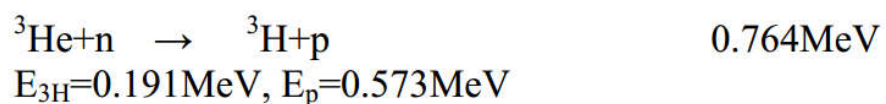
$^6\text{Li}(\text{n},\alpha)$



Микросечение захвата нейтронов: $\sigma = 942 \text{ бн}$ (0,0253 эВ).

В природном литии содержится 7,4 % изотопа ^6Li .

$^3\text{He}(\text{n},\text{p})$



Микросечение захвата нейтронов: $\sigma = 5320 \text{ бн}$ (0,0253 эВ).

Данный изотоп доступен на рынке, однако дорог.

Зависимости сечения захвата от энергии нейтронов для данных веществ [4] приведены на рисунке 1.1.

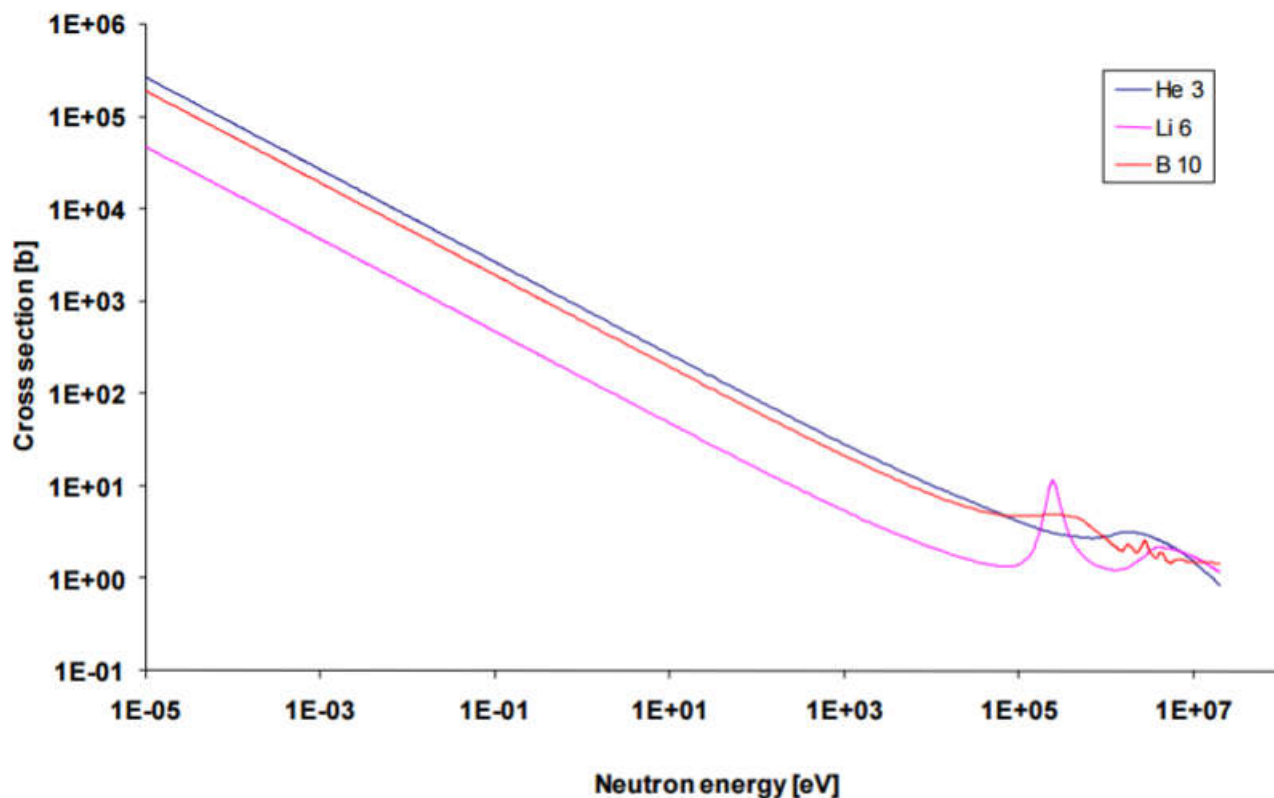


Рисунок 1.1 — Зависимость сечения поглощения рассмотренных изотопов от энергии нейтронов

1.2 Краткий обзор некоторых типов нейтронных детекторов

1.2.1 Газовые детекторы

Данные детекторы отличаются высокой эффективностью, но большими размерами и хрупкостью.

В настоящее время для детектирования медленных нейтронов широко используются пропорциональные счётчики [2] на основе трифторида бора (BF_3), либо, как основная альтернатива, на основе гелия-3.

BF_3 -счётчики сравнительно менее чувствительны, абсолютное давление газа в них ограничено значениями 50-150 кПа, к тому же сечение реакции захвата бора-10 ниже, чем у гелия-3. Однако данные детекторы сравнительно недороги и отличаются высокими значениями отношения сигнала к шуму в условиях небольших вибраций. Кроме этого BF_3 -счётчики позволяют легко отсеивать события регистрации гамма излучения. Обогащение газа по ^{10}B

позволяет существенно увеличить эффективность счётчика (вплоть до пятикратного увеличения, в сравнении с газом, содержащим природный бор). Таким образом, трубка с газом при давлении 80 кПа, обогащенным по бору до 94 %, длиной 30 см имеет эффективность обнаружения тепловых нейтронов (0,025 эВ) 91,5 %. Но с ростом энергии частиц до 100 эВ эффективность снижается до 3,8 % [2].

В то же время ^3He -счётчики имеют большую эффективность, так как сечение реакции у гелия больше, и он допускает работу при больших давлениях. Однако энергия реакции на ^3He ниже, поэтому выделение полезных событий (для счёта нейтронов) становится сложнее. Кроме того ^3He – дорогой газ, что существенно влияет на стоимость таких детекторов.

Время роста импульсов ^3He -счётчиков имеет разброс 3-5 мкс для детектора среднего объема. Помимо этого, невозможно выяснить точно место нейтронной реакции. Эти ограничения могут быть преодолены в сцинтилляционных детекторах [2].

1.2.2 Сцинтилляторы, содержащие бор и литий

Сцинтилляторы, изготавливаемые сплавлением B_2O_3 и ZnS , нашли широкое применение в измерении времени полёта нейтронов. Их изготавливают достаточно тонкими (1 — 2 мм в толщину) из-за относительной непрозрачности материалов к их собственному свету. Бор-содержащие пластиковые сцинтилляторы также доступны на рынке. Они содержат до 5 % бора и имеют световой выход на 25 % меньший, чем стандартные пластиковые сцинтилляторы. Дальнейшее увеличение концентрации бора возможно, однако ведёт к последующему уменьшению светового выхода [1]. Данные сцинтилляторы не позволяют так же эффективно подавлять шумы от регистрации гамма-излучения, как это возможно с BF_3 – трубками, что вызвано рядом причин. Например, вторичные электроны отдают всю свою энергию атомам сцинтиллятора, а газу они отдают лишь часть энергии. Более того,

органические сцинтилляторы производят намного больше света на единицу энергии от электронов, нежели от тяжелых ионов в то время, как ионизационный отклик у газов примерно одинаков [1].

Сцинтилляторы, содержащие литий обычно используются для детектирования медленных нейтронов. Чаще используют кристаллический йодид лития, так как его химические свойства схожи с йодидом натрия. Если к данному соединению добавить активатор — менее 0,1 % европия, то можно достичь светового выхода в 35% в эквиваленте NaI(Tl). Из-за высокой плотности материала, кристалл должен быть небольших размеров для обеспечения приемлемой эффективности детектирования нейтронов. Например, эффективность кристалла из высокообогащённого ${}^6\text{LiI}$ толщиной в 10 мм держится на отметке, близкой к 100% в диапазоне энергий: 0,025 – 0,5 эВ [3].

Также становятся популярными и другие методы изготовления сцинтилляторов, содержащих литий. Среди них можно выделить следующий. Порошок литиевого соединения засыпают в матрицу, состоящую из ZnS(Ag) с толщиной стенок около 0,6 мм. Такие сцинтилляторы относительно недороги и их эффективность составляет 25-30 % для нейтронов с энергией 0,1 эВ. Отсеивание событий детектирования гамма-фотонов упрощается за счёт уменьшения толщины сцинтиллятора (электроны не успевают отдать всю энергию атомам кристалла).

Пластины из ZnS толщиной 0,4 мм, легированные литием в сочетании с ПЗС-камерой часто используются для изображения нейтронов [5]. Так как световой выход такого сцинтиллятора относительно низок, камера должна быть чувствительна настолько, насколько это возможно. Для снижения темнового тока камеры ПЗС охлаждают до температуры -50 °С.

1.2.3 Планарные полупроводниковые детекторы

Наиболее простая адаптация использования полупроводниковых приборов для регистрации нейтронов — планарный полупроводниковый

детектор (также называется: твердотельный детектор, в иностранной литературе — foil coated или thin-film-coated) [3].

Детектор состоит из полупроводникового диода с тонкими контактными слоями, на который нанесён слой (или слои) материала, хорошо взаимодействующего с нейтронами (МВН). Простейший пример такой конфигурации схематично представлен на рисунке 1.2.

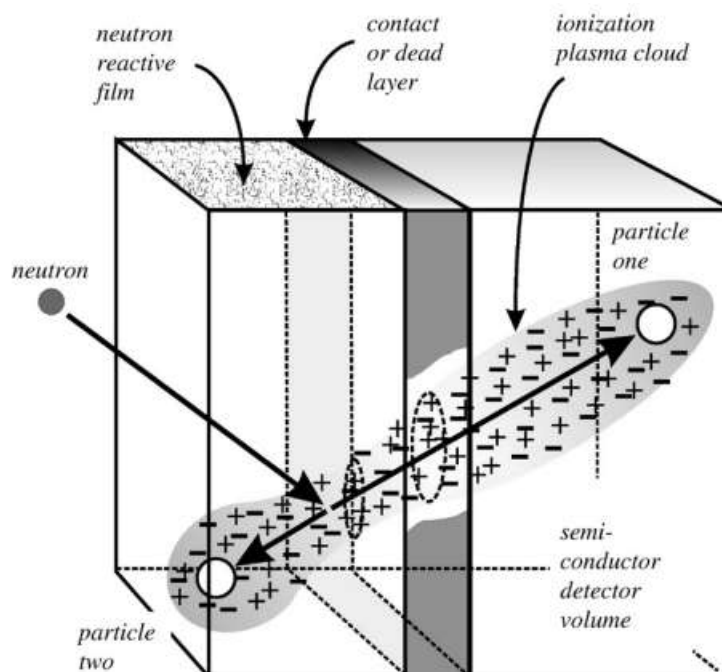


Рисунок 1.2 — Типичная структура планарного полупроводникового детектора

Как показано на рисунке, нейтроны, поглощённые в МВН высвобождают заряженные частицы — продукты реакции, которые двигаются под углом 180° относительно друг друга. При этом одна из частиц с определённой вероятностью попадает в объем полупроводникового диода. В объеме полупроводника заряженная частица теряет свою энергию за счёт кулоновского рассеяния, при этом создавая высокоплотное плазменное облако, представленное колонной электрон-дырочных пар. Диод смещён таким образом, что электрон-дырочные пары разделяются и двигаются в направлении соответствующих контактов. По мере движения, подвижные заряды наводят соответствующие им отображающие заряды на контактах, которые

интегрируются и измеряются внешним предусилителем и сопутствующей электроникой [3].

Данный тип нейтронных детекторов сильно ограничен в эффективности регистрации нейтронов. Вероятность нейтронной реакции растёт с увеличением толщины слоя MBH, при этом вероятность того, что продукты реакции достигнут чувствительного объёма детектора уменьшается. Это значительно ограничивает теоретическую эффективность регистрации нейтронов. Сказанное иллюстрирует типичная для данного типа детекторов зависимость эффективности от толщины слоя MBH, полученная при моделировании данной структуры методом Монте-Карло и представленная на рисунке 1.3 [2].

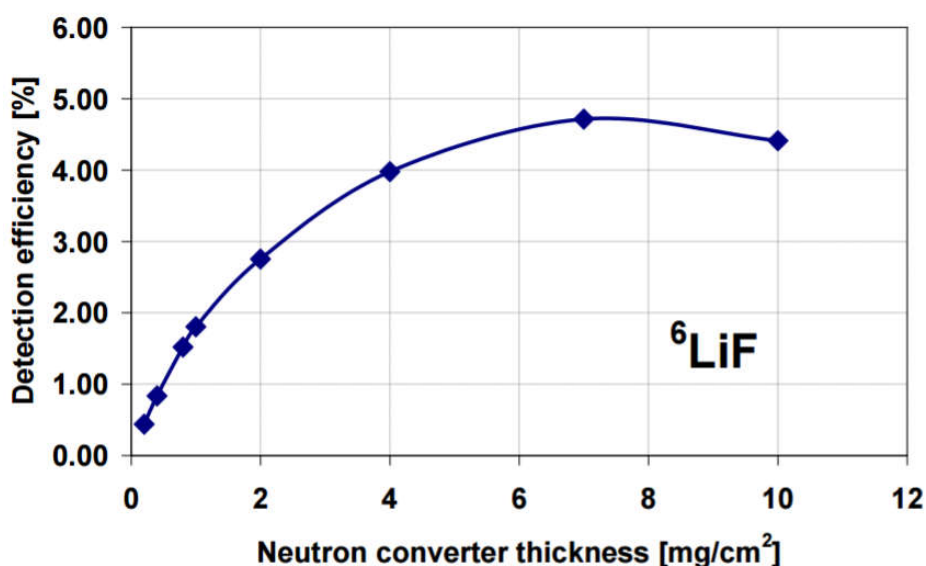


Рисунок 1.3 — Зависимость эффективности регистрации нейтронов планарной структурой от толщины слоя MBH ${}^6\text{LiF}$

1.2.4 Другие типы детекторов

Трековые детекторы предназначены для восстановления траектории полёта частицы. Нейтроны, взаимодействуя с ядрами атомов вещества, составляющего детектор, производят заряженные частицы, которые образуют дефекты в этом веществе [6].

Активационные детекторы используют искусственную радиоактивность одного или нескольких специально подобранных веществ для детектирования нейтронов и определения спектра их энергий [6]. Их основные преимущества — это сравнительно низкая цена и лёгкость в градуировке.

Пузырьковые детекторы содержат капли жидкости, взвешенные в полимерном геле. Продукты реакции взаимодействия нейтрона с атомами капли в попытке преодолеть силу натяжения её поверхности, защищающую каплю от испарения, выделяют большое количество энергии. Данный тип детектора не чувствителен к гамма-излучению, а чувствительность к нейтронам определенных энергий задается ещё на стадии производства. Таким образом он может использоваться в дозиметрии.

Помимо перечисленных, для детектирования нейтронов используются следующие методы:

1 метод протона отдачи — использование энергии протонов, образовавшихся в результате нейтронных реакций;

2 время-пролётный метод используется для детектирования нейтронов, для которых можно точно определить время реакции захвата;

3 метод замедления нейтронов — использование дополнительных замедляющих веществ (например парафин) для снижения энергии нейтронов и, как следствие, повышения эффективности детектора.

1.2.5 Сравнение рассмотренных типов детекторов нейтронов

Сравнение основных типов детекторов, рассмотренных выше представлено в таблице 1.1 [7], [8].

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурирующих разработок, которые представлены на рынке, необходимо проводить, так как рынки находятся в постоянном движении. Такой анализ важен, так как проводится оценка сравнительной эффективности научной разработки, и определяются направления для ее будущего повышения.

Стоит сказать, что на данный момент у разработанного решения очень много конкурентов на рынке.

Объектами анализа стали детекторы нейтронного излучения. В рамках ВКР была проведена оценка сильных и слабых сторон разработок конкурентов, в ходе анализа были рассмотрены конкурентные решения в области детектирования нейтронов крупных компаний *Polimaster* (K1) и *RAE Systems*

					ФЮРА.4 12126.018ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Столповский							
Провер.	Кушпиль В.							
Консул.	Кушпиль С.					ТПУ Группа	ФТИ 0712	
Н. конт.	Ефремов							
Утв.	Горюнов							

(К2). Для рассмотрения, в соответствии с методическими указаниями [55], был подобран ряд критериев для оценки выполняемого в ВКР проекта с точек зрения его ресурсоэффективности и экономической эффективности, результаты сравнения представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конк. сп-ть		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Достоверность измерений	0,22	4	4	4	0,88	0,88	0,88
2. Функциональность	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
3. Диапазон измерения	0,14	4	5	5	0,56	0,7	0,7
4. Возможность измерения гамма	0,12	5	2	2	0,6	0,24	0,24
5. Простота в эксплуатации	0,09	3	4	3	0,27	0,36	0,27
6. Надежность	0,07	4	3	3	0,28	0,21	0,21
7. Портативность	0,06	4	2	2	0,24	0,12	0,12
8. Срок службы	0,08	3	4	4	0,24	0,32	0,32
9. Возможность подключения к ЭВМ	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
Итого	1	42	37	38	4,02	3,64	3,62

Как видно из таблицы, коэффициент конкурентноспособности для нашей разработки составляет 4,02. Наиболее значимыми критериями являются достоверность измерений, функциональность и диапазон измерения. Высокие оценки по перечисленным выше показателям просто необходимы для создания конкурентоспособного продукта в области нейтронного детектирования.

Уникальность разработки заключается в том, что разрабатываемое решение предоставляет широкий функционал в области детектирования. Решение ориентируется на научные исследования и промышленность. Дальнейшее развитие разработки позволит применять решение в других областях.

По результатам проведенного сравнения можно утверждать, что разрабатываемое решение является конкурентоспособным по отношению к имеющимся аналогам на рынке.

5.2 *SWOT*-анализ

Для объективной оценки конкурентоспособности и перспектив развития разработки необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, которые могут повлиять на разработку. *SWOT*-анализ позволит сформировать направление, в котором необходимо работать, чтобы повысить конкурентоспособность научной разработки.

Таблица 5.2 – Итоговая матрица *SWOT*-анализа

	Сильные стороны разработки: С1. Актуальность работы. С2. Расширенный функционал. С3. Достоверность полученных данных. С4. Простота использования. С5. Уникальные технические решения. С6. Более низкая стоимость реализации по сравнению с аналогами.	Слабые стороны разработки: Сл1. Большой срок разработки. Сл2. Необходимость дальнейших научных исследований. Сл3. Отсутствие опыта разработки и поддержания проектов подобного рода у разработчиков. Сл4. Ограниченное время использования в интенсивных полях
Возможности: В1. Использование современной вычислительной техники. В2. Применение образца в быту и промышленности. В3. Политика государства направленная на развитие научно-технического прогресса. В4. Появление спроса на новый продукт (наличие свободных ниш на рынке). В5. Высокая потребность в подобных разработках.	Проект может получить серьезное развитие, итогами которого станут обширное внедрение разработки в наукоемких производствах, расширение функционала, технических возможностей.	Проект может использовать разработки других ведущих ВУЗов, для компенсации зависимости от дополнительных исследований. Использование спонсорской поддержки на компенсацию расходов, связанную с разработкой и поддержанием проекта.

Продолжение таблицы 5.2

Угрозы: У1. Появление новых конкурентных разработок. У2. Увеличение срока выхода на рынок. У3. Стремительное развитие технологий в области разработки. У4. Устаревание программно-технических решений заложенных в основу разработки.	Проект претерпит изменения в технической и программной части, чтобы оставаться конкурентоспособным или будет заморожен до лучших времен. Возможно слияние с другим проектом или продажа текущих разработок конкурентам.	В таком случае потребуется усовершенствование функциональности, а также изменение технологий, лежащих в основе решения.
--	---	---

По итогам *SWOT*-анализа можно судить, что, несмотря на наличие слабостей и угроз для проекта, существуют стратегии, которые позволяют сохранить коммерческую ценность. Так же установлено, что выявленные сильные стороны проекта и возможности позволяют разработать стратегии, при которых возможно увеличение коммерческой ценности проекта ВКР.

5.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На любой стадии жизненного цикла проекта полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации. Для этого необходимо оценить степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

п/п	№ Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	3	2
2	Определены перспективные направления коммерциализации задела	4	2

Продолжение таблицы 5.3

3	Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	3	2
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	1
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13	Проработаны вопросы финансирования научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	34	22

Исходя из оценок степени готовности проекта к коммерциализации видно, что проект имеет среднюю степень готовности. По вопросам маркетинговых исследований, финансирования коммерциализации, необходимо привлечение в команду проекта специалистов из данных областей.

В качестве метода коммерциализации будет использоваться инжиниринг – то есть, на основе договора с консультантом предоставляется комплекс инженерно-технических услуг заказчику, которые связаны с проектированием, разработкой и вводом в эксплуатацию нейтронных детекторов.

5.4 Инициация проекта

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта. Заинтересованные стороны проекта отображены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Развитие и поддержание научной деятельности в области нейтронного детектирования. Создание и коммерческая реализация перспективной научной разработки; написание научных статей, с целью публикации в известных научных журналах для поднятия рейтинга ВУЗа.
Институт ядерной физики академии наук Чешской Республики	Создание и коммерческая реализация перспективной научной разработки; написание научных статей, с целью публикации в известных научных журналах.

В таблице 5.5 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.

Таблица 5.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Разработка перспективного шестнадцатиканального детектора нейтронного излучения.
Ожидаемые результаты проекта	Разработанное устройство должно соответствовать предъявляемым требованиям в области нейтронного детектирования. Конкурентоспособное устройство для детектирования нейтронного излучения.
Критерии приемки результата проекта	Точность измерений, соответствие требованиям, предъявляемым к функционалу устройства, конкурентоспособность по отношению к существующим продуктам.
Требования к результату проекта	Разработанное устройство должно удовлетворять всем предъявляемым требованиям (высокая точность измерений, широкий функционал, возможность детектировать частицы в широком диапазоне энергий). Данные соответствия определяются по результатам проведения экспериментальных исследований нейтронного детектора.

Рабочая группа проекта отображена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, ч.
1	Кушпиль В.В., кафедра спектроскопии, профессор	Руководитель проекта	Руководство процессом выполнения проекта.	420

Продолжение таблицы 5.6

2	Столповский А.Е., кафедра ЭАФУ ТПУ, студент	Исполнитель	Выполнение работ по теоретической проработке проекта. Практическая реализация проекта	656
---	---	-------------	---	-----

Ограничения и допущения проекта приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта, р.	218276
Источник финансирования	НИ ТПУ, ИЯФ АНЧР
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	03.10.2016
Дата завершения проекта	25.01.2017

5.5 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Календарный план в виде диаграммы Ганта представлен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Календарный план-график проведения проекта

Вид работы	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, недели													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Составление ТЗ	Дипломник, н.р.	1, 3														
2 Техничко-эконмическое обоснование	Дипломник, н.р.	3, 1	 													
3 Изучение литературы	Дипломник, н.р.	6, 1														
4 Анализ существующих решений	Дипломник, н.р.	6, 1		 												
5 Разработка структуры устройства	Дипломник, н.р.	6, 2				 										
6 Разработка алгоритмов работы устроства	Дипломник, н.р.	18, 3					 			 						
7 Установка и настройка вспомогательного ПО	Дипломник	6														
8 Разработка устройства	Дипломник, н.р.	24, 2													 	
9 Проведение экспериментов	Дипломник, н.р.	6, 2													 	
10 Оформление результатов	Дипломник, н.р.	6, 1														



– Руководитель



– Дипломник

5.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

В данной научной разработке планируемыми расходами являются основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером.

5.6.1 Расчёт стоимости материальных затрат

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат были также включены транспортно-заготовительные расходы. Результаты расчетов представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 — Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за ед., р	Сумма, р
Микроконтроллер PSoC 4100	4	1	300	300
Миконтроллер PSoC 5LP	Pi2	1	2800	2800
Сцинтиллятор	ZnS/ ⁶ Li	1	3100	3100
Диод SiPM	Sensl C-Series	5	3200	16000
Диод PIN	BPW34	15	120	1800
Электронные компоненты	-	-	5000	5000
Всего за материалы				29000
Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)				1000
Итого по статье C _м				30000

5.6.2 Расчёт стоимости затрат на специальное оборудование

В данный раздел включены все затраты, связанные с использованием специального оборудования, необходимого для проведения работ по выполнению дипломной работы. Определение стоимости затрат на специальное оборудование стоимостью более 20 000 р. производится по амортизационным отчислениям. Для расчетов затрат была составлена таблица 5.10.

Таблица 5.10 — Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование	Стоимость, р.	Кол-во	Срок полезного использования, мес.
Цифровой осциллограф <i>R&S RTO1024</i>	857 335	1	120
Цифровой осциллограф <i>NI PXI 5105</i>	223 000	1	72
<i>Waveform</i> -генератор <i>Tektronix</i>	526 400	1	135

Расчет ежемесячной нормы амортизации K производился по линейному методу:

$$K = \frac{1}{n} * 100\%, \quad (5.1)$$

где n – срок полезного использования в месяцах.

Ниже представлен пример расчета стоимости затрат на цифровой осциллограф *R&S RTO1024*.

Ежемесячная норма амортизации:

$$K = \frac{1}{120} * 100 = 0,833\%. \quad (5.2)$$

Сумма ежемесячных амортизационных отчислений S :

$$S = \frac{K * Q}{100\%} = \frac{0,833 * 857335}{100} = 7570, \quad (5.3)$$

где Q – стоимость оборудования.

Общая стоимость затрат P :

$$P = S * n_{исп} = 7570 * 3 = 22710, \quad (5.4)$$

где $n_{исп}$ – срок реального использования оборудования.

Результаты расчетов представлены в таблице 5.11

Таблица 5.11 — Затраты на специальное оборудование

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Сумма затрат, р
Цифровой осциллограф <i>R&S RTO1024</i>	1	22 710
Цифровой осциллограф <i>NI PXI 5105</i>	1	9 291
<i>Waveform</i> -генератор <i>Tektronix</i>	1	11 698
Итого		43 699

5.6.3 Расчёт заработной платы работников

В настоящий раздел включается заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по теме дипломного проекта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Для определения действительного годового фонда рабочего времени сотрудников была составлена таблица 5.12.

Таблица 5.12 — Баланс рабочего времени сотрудников

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
– выходные дни	104	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочих дней	33	38
– отпуск	28	28
–невыход по болезни	5	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	214	209

Месячный должностной оклад руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}} = 20000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1 = 30000, \quad (5.5)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, р.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент.

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}} = \frac{30000 * 11,2}{214} = 1570, \quad (5.6)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, р.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Основная заработная плата $З_{\text{осн}}$ руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} * T_{\text{р}} = 1570 * 16 = 25120, \quad (5.7)$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых руководителем (таблица 5.12);

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата руководителя.

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ рассчитывается исходя из 10–15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении дипломного проекта:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,1 * 25120 = 2512, \quad (5.8)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплат.

Общая заработная плата руководителя $C_{\text{зп}}$ включает основную и дополнительную заработную плату:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 25120 + 2512 = 27632. \quad (5.9)$$

Месячный должностной оклад дипломника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}} = 9000 * (1 + 0 + 0) * 1 = 9000. \quad (5.10)$$

Среднедневная заработная плата дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}} = \frac{9000 * 11,2}{209} = 482. \quad (5.11)$$

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ дипломника:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{р}} = 482 * 82 = 39524. \quad (5.12)$$

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ рассчитывается исходя из 10– 15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении дипломного проекта:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,1 * 39524 = 3952. \quad (5.13)$$

Общая заработная плата дипломника включает основную и дополнительную заработную плату:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 39524 + 3952 = 43476. \quad (5.14)$$

Итоговые результаты представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 — Заработная плата лиц, участвующих в дипломном проекте

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата, р	25120	39524
Дополнительная зарплата, р	2512	3952
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	71108	

5.6.4 Расчёт отчислений на социальные нужды

Затраты на отчисления во внебюджетные фонды рассчитывались по следующей формуле:

$$C_{внеб} = k_{внеб} * C_{зн} = 0,38 * 71108 = 27021, \quad (5.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

5.6.5 Расчёт потребляемой электроэнергии

Основным потребляемым сырьем в данной научной разработке является потребление электроэнергии компьютером. Для расчета стоимости потребляемой электроэнергии необходимо знать потребляемую мощность компьютером, время работы и текущий тариф на электроэнергию:

$$C_{эз} = 8 * Д * Т * М = 8 * 80 * 5,8 / 1000 * 65 = 241,28, \quad (5.16)$$

где 8 – 8-часовой рабочий день;

Д – продолжительность работ;

Т – тариф на электроэнергию;

М – мощность, потребляемая ноутбуком.

По техническим характеристикам, ноутбук потребляет 65 Вт электроэнергии. Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии составляет 5,8 рублей.

С учётом электричества для спец. оборудования: $C_{эз} = 3741,28$ р.

5.7 Группировка затрат по статьям

Таким образом, весь бюджет исследования составил:

$$C_{сум} = C_{м} + C_{со} + C_{зн} + C_{внеб} + C_{эз} = 175569,28 \text{ р.} \quad (5.17)$$

Группировка затрат по статьям представлена в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Мат. затраты, р.	Осн. з/п, р.	Доп з/п, р.	Соц. нужды, р	Спецоборуд., р.	Электроэнергия, р	Итого себестоимость, р
1	1182,4	1117,6	113	467,6	43699	110,4	7360,93
2	1113	2820,5	282	1178,9		226,1	9990,45
3	7123,2	5169,7	517	2160,9		167	19507,75
4	2671,2	8388,4	839	3506,4		362,6	20137,51
5	1780,8	2892,3	289	1208,9		141,7	10682,59
6	2207	10318,32	1031	4312,7		78,3	22317,26
7	2207	11183,2	1118	4674,5		178,3	23730,86
8	8205	10924,48	1092	4566,3		1223	30380,64
9	1129,4	8227,7	823	3439,3		975.3	18964,57
10	2381	3601,8	360	1505,5		278.5	12496,68
Итого							175569,28

5.8 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 5.15 — Реестр рисков

№	Риск	Потенц. воздействие	Вер-сть наступления (1-5)	Вли-яние риска (1-5)	Ур. риск.	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Отсутствие заинтересованных потребителей на момент завершения проекта	Финансовые проблемы из-за отсутствия спроса	1	4	Средний	Активный поиск заинтересованных потребителей	Изменение цен на рынке, выход принципиально новых технологий
2	Преждевременное прекращение финансирования	Заморозка разработки	4	3	Высокий	Привлечение спонсоров, подтверждение актуальности разработки на научных конференциях	Ухудшение экономической обстановки в стране
3	Невыполнение проекта в срок	Штрафы, прекращение финансирования	3	3	Средний	Интенсивная работа, привлечение дополнительных рабочих сил для проекта, перераспределение обязанностей	Систематическое отставание разработки от установленных сроков

5.9 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности I_{Φ}^P и ресурсоэффективности I_m^P .

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают I_{Φ}^P в ходе оценки бюджета затрат для вариантов исполнения научного исследования. Для разрабатываемого устройства затраты составляют 175569,28 рублей. В качестве аналога выступает детектор МКС-РМ1401К. Стоимость данного решения составляет 850000 рублей. Из этого следует, что затраты на данное решение будут являться наибольшим интегральным показателем реализации технической задачи Φ_{max} .

Интегральный финансовый показатель разработки определяется формулой:

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{218275,6}{850000} = 0,26. \quad (5.18)$$

Интегральный финансовый показатель аналога, очевидно, равен единице.

Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения определяется как сумма произведений балла критерия на его оценку. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитан в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог
1. Достоверность измерений	0,18	3	5
2. Функциональность	0,19	3	5
3. Диапазон измерения	0,20	2	4
4. Возможность измерения гамма	0,17	5	3

5. Портативность	0,13	4	4
6. Надежность	0,13	4	4
Итого	1	21	25

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности разработки и аналога приведен в формулах (5.19) и (5.20).

$$I_{\text{финр}}^p = 0,18*3 + 0,19*3 + 0,2*2 + 0,17*5 + 0,13*4 + 0,13*4 = 3,4; \quad (5.19)$$

$$I_{\text{финр}}^a = 0,18*5 + 0,19*5 + 0,2*4 + 0,17*3 + 0,13*4 + 0,13*4 = 4,2. \quad (5.20)$$

Интегральный показатель эффективности разработки определяется по формуле.

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{3,4}{0,26} = 13,1. \quad (5.21)$$

Интегральный показатель эффективности аналога равен, очевидно, 4,2.

Сравнение интегральных показателей эффективности текущего проекта и аналога позволяет определить сравнительную эффективность проекта.

$$\Xi_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{13,1}{4,2} = 3,12 \quad (5.22)$$

Таблица 5.17 – Сравнительная эффективность проекта

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный финансовый показатель	1	0,26
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,2	3,4
Интегральный показатель эффективности	4,2	13,1
Сравнительная эффективность проекта	3,12	

По результатам проведенного анализа были получены значения интегрального показателя эффективности для нашей разработки и её аналога. По полученным значениям можно утверждать, что эффективность проекта и его разработки высока в сравнении с конкурентным решением.