

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния быстрых нейтронов на концентрацию носителей заряда монокристаллического кремния при его использовании в качестве детектора быстрых нейтронов.

УДК 539.1.074:539.125.516:661.68

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Г	Казаков Аркадий Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Емец Е.Г	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ 13.06.2019 Бычков П. Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Г	Казakov Аркадий Андреевич

Тема работы:

Исследование влияния быстрых нейтронов на концентрацию носителей заряда монокристаллического кремния при его использовании в качестве детектора быстрых нейтронов.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1550/с от 27.02.19

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none">- исследовательский реактор;- материал;- теоретические данные о детекторах
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none">- анализ теоретических данных о различных методах детектирования нейтронов ;- разработка и создание модели полномасштабной модели реактора ИРТ-Т с вертикальными экспериментальными каналами в пакете программ MSU5;- Расчет спектров и потоков в вертикальных экспериментальных каналах ВЭК-1, ВЭК-11 при установленном борном фильтре, ВЭК-4, ВЭК-5, ВЭК-13 при установленном кадмиевом фильтре;

	- измерение носителей заряда исходных и облученных шайб монокристаллического кремния; - сравнение результатов
Перечень графического материала	Опора реактора – обязательный чертеж.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В. Ю.
Социальная ответственность	Гоголева Т. С.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Нет

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Емец Е.Г	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Г	Казаков А.А.		

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

Студенту:

Группа 0А5Г	ФИО Казаков Аркадий Андреевич
----------------	----------------------------------

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	– Тариф на электроэнергию – 5,748 руб. за 1 кВт·ч.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– Ставка НДС – 20 %; – Затраты на ЕСН – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Организация и планирование работ</i>	– Расчет продолжительности этапов работ; – Построение линейного графика работ; – Расчет накопления готовности проекта.
<i>2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта</i>	
<i>3. Оценка экономической эффективности</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>1. Линейный график работ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Г	Казаков А.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Г	Казаков Аркадий Андреевич

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ, шум, вибрация, вредные вещества; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ и ВЧФ-плазмотроне;

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 производственной 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	23.04.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		23.04.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Г	Казаков А.А.		25.04.2019

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
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.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Код результата	Результат обучения (компетенции)
Р8	<p>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).</p>
Р9	<p>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.</p>
Р10	<p>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.</p>
Р11	<p>Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.</p>

Код результата	Результат обучения (компетенции)
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 73 страницы, 17 рисунков, 16 таблиц, 1 приложение

Ключевые слова: спектр нейтронов, плотность потока, флюенс нейтронов, подвижность зарядов, концентрация зарядов, детектор нейтронов, , исследовательский реактор.

Объектом исследования является подвижность и концентрация зарядов в монокристаллическом кремнии

Цель работы – оценка влияния быстрых нейтронов на концентрацию и подвижность неосновных носителей заряда в монокристаллическом кремнии при его использовании в качестве детектора.

В процессе работы были проведены: обзор теоретических данных о быстрых нейтронах и методах их детектирования, расчет спектров и потоков в вертикальных экспериментальных каналах ВЭК-1, ВЭК-11 при установленном борном фильтре, ВЭК-4, ВЭК-5, ВЭК-13 при установленном кадмиевом фильтре, измерение носителей заряда исходных и облученных шайб монокристаллического кремния, измерение подвижности зарядов и их концентрации.

В результате работы были представлены расчеты спектров и потоков, их графики, расчеты подвижностей зарядов их концентрации до облучения и после в течение определенного времени, сравнение полученных расчетов между собой и выявление зависимости подвижности носителей зарядов от времени облучения.

Оглавление

Введение.....	12
1 Нейтронные детекторы.....	14
1.1 Методы регистрации нейтронов.....	14
1.1.1 Метод наведенной активности.....	14
1.1.2 Борный метод.....	16
1.1.3 Регистрация с помощью делительных камер.....	16
1.1.4 Метод ядер отдачи.....	16
1.2 Виды детекторов.....	18
1.2.1 Газовые пропорциональные датчики.....	18
1.2.1.1 Газовые заполненные газоразрядные детекторы He^3	18
1.2.1.2 BF_3 газонаполненные пропорциональные детекторы.....	19
1.2.1.3 Борные линейные пропорциональные детекторы.....	19
1.2.2 Сцинтилляционные нейтронные детекторы.....	19
1.2.3 Быстрые нейтронные детекторы.....	22
1.3 Полупроводниковый детектор и его роль.....	23
1.4 Метод Монте-Карло.....	26
2 Практические расчеты.....	27
2.1 Геометрия реактора и каналов.....	27
2.2 Расчеты спектра и потока нейтронов.....	28
2.3 Расчеты необлученного кремния.....	38
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
3.1 Организация и планирование работ.....	44
3.1.1 Продолжительность этапов работ.....	45
3.2 Расчет смет затрат на выполнение проекта.....	51
3.2.1 Расчет затрат на материалы.....	51
3.2.2 Расчет заработной платы.....	52
3.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	53
3.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	53
3.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	55

3.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)	56
3.2.7 Расчет прочих расходов	56
3.2.8 Расчет общей себестоимости разработки	56
3.2.9 Расчет прибыли	57
3.2.10 Расчет НДС	57
3.2.11 Цена разработки НИР	57
3.3 Оценка экономической эффективности проекта	58
4 Социальная ответственность	59
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	59
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	61
4.2.1 Организационные мероприятия.....	61
4.2.2 Технические мероприятия.....	62
4.3 Электробезопасность	66
4.4 Пожарная и взрывная безопасность	67
Заключение	70
Список использованных источников	71
Приложение А	74

Введение

Исследовательский реактор ИРТ-Т предназначен для проведения фундаментальных и прикладных исследований таких, как физика твердого тела, ядерная физика, радиационная химия, нейтронно-активационный анализ элементного состава веществ, производство радиоактивных изотопов, ядерное легирование кремния. Для качественного решения этих задач требуется постоянный контроль нейтронного поля, в первую очередь, контроль за спектром, флюенсом тепловых нейтронов. Среди всех существующих методов контроля нет универсальных, пригодных для проведения любого эксперимента на нейтронах реактора. Например, в области радиационных технологий, а также при работе на ядерно-энергетических установках и ускорителях часто требуется осуществлять контроль за плотностью потока нейтронов $10^6 - 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ или за их флюенсом $10^{10} - 10^{18} \text{ см}^{-2}$. Такой диапазон плотностей потока нейтронов плохо поддается контролю широко распространенными методами (ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, сцинтилляторы, ядерные эмульсии, активационные детекторы) или из-за трудоемкости процесса или сложности оборудования. Поэтому время от времени делаются попытки применения более простых, дешевых и оперативных методов контроля, в частности, с использованием полупроводниковых резисторов, диодов и транзисторов. Принцип их действия основан на изменении электро-физических параметров этих приборов под действием нейтронного излучения. Основная трудность, препятствующая их широкому распространению, связана со значительным разбросом исходных параметров даже у однотипных приборов серийного выпуска. Поэтому каждый такой прибор требует индивидуальной калибровки, после которой восстановление исходных параметров часто невозможно из-за разрушения внутренней структуры приборов при высокотемпературном отжиге дефектов.

В этой связи предложены детекторы быстрых нейтронов на основе монокристаллического кремния. В основу этих детекторов положено изменение

проводимости полупроводниковых монокристаллов при их облучении нейтронами. При этом физическая информация (изменение проводимости) сохраняется. Это означает, что такими детекторами (в отличие от активационных) можно контролировать флюенс нейтронов в меняющемся нейтронном поле или даже при возникающих в процессе эксперимента остановках реактора. Такие детекторы могут служить в качестве детекторов сопровождения эксперимента.

При реализации кремниевых детекторов использованы шайбы монокристаллического кремния. Для этого с помощью существующей на реакторе технологии нейтронно-трансмутационного легирования были изготовлены шайбы с требуемыми исходными удельными сопротивлениями. На этих шайбах была проведена необходимая экспериментальная работа, подтвердившая возможность их использования в качестве нейтронных детекторов.

В работе проведен обзор существующих методов детектирования флюенса быстрых нейтронов, описаны принципы детектирования быстрых нейтронов шайбами монокристаллического кремния, приведены экспериментальные результаты. Кроме того, проведен расчет плановой себестоимости проведения НИОКР путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов и анализ вредных факторов, воздействующих на человека при проведении экспериментов для ВКР.

1 Нейтронные детекторы

Нейтронные детекторы - приборы для регистрации и определения энергетического спектра нейтронов. Нейтроны не обладают электрическим зарядом и не оставляют после себя следов (треков) из ионизированных и возбуждённых частиц, появление которых вызывает срабатывание большинства детекторов частиц. Поэтому нейтронные детекторы всегда содержат некоторое вещество - радиатор (конвертер), ядра которого при взаимодействии с нейтронами порождают заряженные частицы или γ -кванты.

1.1 Методы регистрации нейтронов

Поскольку нейтроны не взаимодействуют с электронами, у них очень слабая ионизация. Таким образом, нейтроны нельзя обнаружить обычными приборами, основанными на ионизирующей способности заряженных частиц. Используются вторичные эффекты

Регистрация нейтронов основана на двух принципах: во-первых, на наблюдении заряженных частиц, возникающих при ядерном взаимодействии нейтронов с веществом, вводимым в прибор, и, во-вторых, на использовании явления отдачи ядер легких элементов при столкновении их с нейтронами. Выбор метода зависит от энергии нейтрона: для медленных нейтронов пользуются методом ядерных взаимодействий, тогда как для быстрых – методом ядер отдачи.

1.1.1 Метод наведенной активности.

При образовании и поглощении нейтронов часто образуются радиоактивные ядра, которые распадаются согласно общим законам радиоактивного распада. Измеряя активность полученных таким образом источников, можно определить величину потока падающих нейтронов.

Рассмотрим, как меняется число активных ядер N со временем. Если на образец падает ν нейтронов в секунду на 1см^2 , а в слое вещества содержится n атомов/см, то при эффективном сечении захвата, равном σ за одну секунду, должно образоваться $n \cdot \nu \cdot \sigma$ σ -активных атомов. Одновременно будет происходить распад этих атомов, и за время dt число распавшихся атомов равно $\lambda N dt$. Следовательно, активность препарата

$$\frac{dN_t}{dt} = n \cdot \nu \cdot \sigma - \lambda N, \quad (1)$$

Решение этого уравнения, как известно, приводит к экспоненциальному закону, по которому при достаточно большом времени t

$$\frac{dN}{dt} \rightarrow 0, \quad (2)$$

т. е. увеличение числа активных атомов полностью компенсируется распадом. Стационарное число активных атомов станет равным числу атомов, образованных за среднее время жизни τ

$$N_0 = \frac{\nu n \sigma}{\lambda} = \nu n \sigma \tau, \quad (3)$$

Величина λN_0 называется активацией насыщения. При $t \ll \tau$ можно считать

$$N = n \cdot \sigma \cdot \nu \cdot t, \quad (4)$$

В общем случае интегрируя уравнение, получим

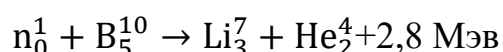
$$N = N_0(1 - e^{-\lambda t}), \quad (5)$$

Исследуя активность препарата, можно определять число падающих нейтронов ν . Иногда радиоактивные ядра возникают при фотоядерных реакциях. По их активности также можно судить о количестве выделенных

нейтронов. Однако этим методом нельзя получить сведения об энергетическом распределении нейтронов.

1.1.2 Борный метод

Очень важный метод регистрации нейтронов основан на свойствах бора поглощать нейтроны с энергией от тепловых до десятков кэВ (по закону $1/v$) При этом идет реакция:



Родившиеся α -частицы сильно ионизуют вещество и могут быть зарегистрированы приборами. Для этого можно использовать почти все имеющиеся детекторы, вводя в них соответствующим способом бор: а) ионизационные камеры наполняются газом BF_3 ; б) стенки счетчиков Гейгера — Мюллера покрываются тонким слоем B^{10} ; в) в желатину фотоэмульсии добавляется бор; г) в сцинтиллятор добавляется бор.

1.1.3 Регистрация с помощью делительных камер

Медленные нейтроны вызывают деление U^{235} . Осколки от деления имеют энергию порядка 100 МэВ большую массу и малый пробег в веществе. Кроме того, они сильно ионизованы. Это позволяет использовать для регистрации нейтронов обычную ионизационную камеру, один электрод которой покрыт окисью урана, обогащенной U^{235} . Такие камеры получили название делительных.

Для детектирования быстрых нейтронов используют делительную камеру, стенки которой покрыты U^{238} , делящимся под воздействием этих нейтронов.

1.1.4 Метод ядер отдачи

Основным методом, позволяющим не только зарегистрировать нейтрон большой энергии, но и определить его импульс (энергию), является метод ядер отдачи (обычно — протонов отдачи).

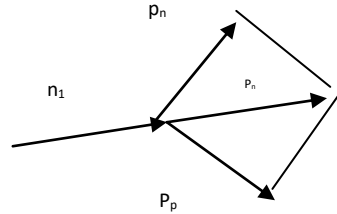


Рисунок 1 – Распределение импульсов при столкновении нейтрона с протоном

Нейтрон, сталкиваясь с протоном, передает ему часть своей энергии и импульса (рис. 78). Пользуясь законами сохранения энергии и импульса при упругом ударе, можно определить как энергию падающего нейтрона, так и угол вылета рассеянного нейтрона:

$$E_{n1} = E_{n2} + E_p, \quad (6)$$

$$p_{n1} = p_{n2} + p_p, \quad (7)$$

Из первого равенства следует

$$\frac{p_{n1}^2}{2m_n} = \frac{p_{n2}^2}{2m_n} + \frac{p_p^2}{2m_p}, \quad (8)$$

видно, что поскольку $m_n = m_p$ то $\triangle ABC$ прямоугольный и $p_p = p_{n1} \cos \theta_n$. Отсюда получается для энергии

$$E_p = E_{n1} \cos^2 \theta_p, \quad (9)$$

Для эффективного использования этого метода в различные детекторы вводят водородосодержащие вещества

1.2 Виды детекторов

1.2.1 Газовые пропорциональные датчики

Газовые пропорциональные датчики могут быть приспособлены для обнаружения нейтронов. Хотя нейтроны обычно не вызывают ионизации, добавление нуклида с высоким сечением нейтронов позволяет детектору реагировать на нейтроны. Обычно для этого используются нуклиды: гелий-3, литий-6, бор-10 и уран-235. Поскольку эти материалы, скорее всего, будут реагировать с тепловыми нейтронами (т. е. нейтронами, которые замедлились до равновесия со своим окружением), они обычно окружены нейтронными замедлителями, чтобы уменьшить их энергию и повысить вероятность обнаружения.

Дальнейшая обработка обычно необходима для дифференциации нейтронного сигнала от эффектов других видов излучения. Поскольку энергия теплового нейтрона относительно невелика, реакции заряженных частиц являются дискретными (т. е. по существу моноэнергетическими и лежат в узкой полосе частот энергий), тогда как другие реакции, такие как гамма-реакции, будут охватывать широкий диапазон энергий, можно различать источники.

В качестве класса газовые ионизационные датчики измеряют количество (скорость счета), а не энергию нейтронов. Вот несколько видов таких датчиков

1.2.1.1 Газовые заполненные газоразрядные детекторы He^3

Изотоп гелия He^3 обеспечивает эффективный материал нейтронного детектора, потому что He^3 реагирует с поглощением тепловых нейтронов, создавая ион H^1 и H^3 . Его чувствительность к гамма-лучам пренебрежимо мала, обеспечивая тем самым огромную пользу. К сожалению, получение He^3 ограничена тем, что это побочный продукт от распада трития (который имеет период полураспада 12,3 года), тритий производится либо в рамках программ

вооружений, либо в качестве ракеты-носителя для ядерного оружия, либо как побочный продукт работы реактора.

1.2.1.2 BF_3 газонаполненные пропорциональные детекторы

Поскольку элементный бор не является газообразным, нейтронные детекторы, содержащие бор, могут попеременно использовать трифторид бора (BF_3), обогащенный до 96% бора-10 (природный бор составляет 20% B^{10} , 80% B^{11}). Следует отметить, что трифторид бора является высокотоксичным.

1.2.1.3 Борные линейные пропорциональные детекторы

В качестве альтернативы, пропорциональные счетчики с газовым наполнением с борным потоком реагируют аналогично газовым заполняющим фильтрам с трифторидом бора (BF_3), за исключением того, что стены покрыты B^{10} . В этой конструкции, поскольку реакция протекает на поверхности, только одна из двух частиц выйдут в пропорциональный счетчик.

1.2.2 Сцинтилляционные нейтронные детекторы

Сцинтилляционные нейтронные детекторы включают жидкие органические сцинтилляторы, кристаллы, пластмассы, стекло и сцинтилляционные волокна.

1.2.2.1 Нейтронно-чувствительные детекторы из сцинтилляционного стекловолокна

Информация о сцинтилляционном Ne^6 -литиевом стекле для обнаружения нейтронов впервые была опубликована в научной литературе в 1957 году, а ключевые успехи были сделаны в 1960-х и 1970-х годах. Сцинтиллирующее волокно было продемонстрировано Аткинсоном М. в 1987 году, и значительные успехи были достигнуты в конце 1980-х и начале 1990-х годов в Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории, где оно было разработано как классифицированная технология.

Сцинтилляционные стеклянные волокна работают путем включения Li^6 и Ce^{3+} в объемную композицию стекла. Li^6 имеет высокое сечение поглощения тепловых нейтронов через Li^6 . Нейтронное поглощение испускает ион трития, альфа-частицу и кинетическую энергию. Альфа-частица и тритон взаимодействуют со стеклянной матрицей для получения ионизации, которая передает энергию ионам Ce^{3+} и приводит к испусканию фотонов с длиной волны 390 нм - 600 нм, поскольку возбужденное состояние Ce^{3+} ионы возвращаются в основное состояние. Событие приводит к вспышке света в несколько тысяч фотонов для каждого поглощенного нейтрона. Часть сцинтилляционного света распространяется через стекловолокно, которое действует как волновод. Концы волокон оптически соединены с парой фотоумножителей для обнаружения всплесков фотонов. Детекторы могут использоваться для обнаружения как нейтронов, так и гамма-лучей, которые обычно различаются с использованием селекции высоты импульса. Сделано существенное усилие и прогресс в снижении чувствительности детекторов волокон к гамма-излучению. Первоначальные детекторы страдали от ложных нейтронов в гамма-поле 0,02 мР. Улучшения в области проектирования, обработки и алгоритмов теперь позволяют работать в гамма-полях до 20 мР / ч.

Сцинтилляционные волоконные детекторы обладают отличной чувствительностью, они прочны и имеют быструю синхронизацию (~ 60 нс), так что возможен большой динамический диапазон в скорости счета. Преимущество детекторов состоит в том, что они могут быть сформированы в любую желаемую форму и могут быть сделаны очень

большими или очень маленькими для использования в самых разных областях применения. Кроме того, они не полагаются на He^3 или какое-либо сырье, имеющее ограниченную доступность, и не содержат токсичные или регулируемые материалы. Их производительность равна или превышает их детекторы с He^3 для массового счета нейтронов из-за более высокой плотности поглощающих нейтронов в твердом стекле по сравнению с газообразным He^3 высокого давления. Несмотря на то, что сечение тепловых нейтронов Li^6 является низким по сравнению с He^3 (940 барн против 5330 барн), плотность атомов Li^6 в волокне в пятьдесят раз больше, что дает преимущество в отношении эффективного коэффициента захвата приблизительно 10:1.

1.2.2.2 Сцинтилляционный нейтронный детектор LiCaAlF_6

LiCaAlF_6 является чувствительным к нейтронам неорганическим сцинтилляционным кристаллом, который, как нейтрон-чувствительные детекторы из сцинтилляционного стекловолокна, использует захват нейтронов на Li^6 . Однако, в отличие от сцинтилляционных детекторов из стекловолокна, Li^6 является частью кристаллической структуры сцинтиллятора, что дает ей естественную плотность Li^6 . Чтобы обеспечить кристалл его сцинтилляционными свойствами, добавляют допирующий агент (внедренный в материал), обычно это цезий и европий. Допированный легированием европия LiCaAlF_6 имеет преимущество перед другими материалами в том, что число оптических фотонов, создаваемых на захват нейтронов, составляет около 30 000, что в 5 раз выше, чем, например, в чувствительных к нейтронам сцинтилляционных стекловолокнах. Это свойство облегчает обнаружение фотонами нейтронов. Благодаря своей высокой плотности Li^6 этот материал подходит для производства компактных нейтронных детекторов легкого веса, в результате LiCaAlF_6 используется для обнаружения нейтронов на больших высотах при полетах на воздушном шаре. Длительное время затухания

легированного европием LiCaAlF_6 делает его менее подходящим для измерений в условиях высокой радиации, вариант легирования цезием имеет более короткое время затухания, но имеет более низкую светоотдачу (испускание фотонов).

1.2.3 Быстрые нейтронные детекторы

Быстрые нейтроны часто обнаруживаются с помощью первого изменения (замедления) их тепловых энергий. Однако во время этого процесса теряется информация об исходной энергии нейтрона, его направлении движения и времени излучения. Для многих экспериментов очень желательно обнаружение «быстрых» нейтронов, которые сохраняют эту информацию.

Типичными детектором быстрых нейтронов являются жидкие сцинтилляторы, He^4 -основанные детекторы благородных газов и пластиковые детекторы. Быстрые нейтронные детекторы отличаются друг от друга своей : 1) способностью к детекции нейтронов / гаммы (посредством дискриминации по форме импульса); 2) чувствительности. Возможность различать нейтроны и гамма превосходит в детекторах N10^4 на основе благородных газов из-за их низкой плотности электронов и превосходного свойства обнаружения формы импульса.

Обнаружение быстрых нейтронов создает ряд особых проблем. Направленный детектор быстрых нейтронов был разработан с использованием нескольких протонных отслоений в отдельных плоскостях пластикового сцинтилляционного материала. Записываются пути ядер отдачи, создаваемых нейтронным столкновением; определение энергии и импульса двух ядер отдачи позволяет рассчитать направление движения и энергию нейтрона, прошедшего с ними упругое рассеяние

1.3 Полупроводниковый детектор и его роль

В ядерной физике - устройство для обнаружения ионизирующего излучения; его основной составляющей является полупроводниковый монокристалл. Полупроводниковый детектор работает аналогично ионизационной камере. Однако в полупроводниковом детекторе ионизация происходит в слое кристалла, а не в газонаполненной камере. Полупроводниковый детектор представляет собой полупроводниковый диод, к которому применяется обратное (обрезанное) напряжение $\sim 10^2$ вольт. Слой полупроводника, который примыкает к границе p-n-перехода, имеет пространственный заряд и обеднен носителями заряда (электроны и дырки); следовательно, слой имеет высокое удельное сопротивление. Заряженная частица, которая проникает в этот слой, создает дополнительные (неравновесные) пары электрон-дырок. Под воздействием электрического поля эти пары пересобираются путем миграции на электроды детектора. В результате электрический импульс генерируется во внешней цепи детектора.

Заряд, собранный на электродах полупроводникового детектора, пропорционален энергии, выделяемой частицей при прохождении через истощающий слой, который является чувствительным объемом детектора. Поэтому, если частица полностью замедляется в чувствительном объеме, детектор может использоваться в качестве спектрометра. Средняя энергия, необходимая для образования одной электронно-дырочной пары в полупроводнике, мала: 3,8 электрон-вольт (эВ) для Se и 2,9 эВ для Ge. В результате, если используется материал высокой плотности, спектрометр можно получить с высоким разрешением: $\sim 0,1\%$ для энергии ~ 1 млн. Электрон-вольт (МэВ). Если частица полностью замедляется в чувствительном объеме, эффективность обнаружения составляет ~ 100 процентов. Высокая подвижность носителей заряда в Ge и Si позволяет собирать заряд в ~ 10 наносекундах; таким образом, обеспечивая высокое разрешение полупроводниковых детекторов.

Первые полупроводниковые детекторы, построенные в 1956 и 1957 годах, использовали поверхностно-барьерные соединения (диод Шоттки) или сплавленные p-n-переходы в Ge. Их необходимо было охладить, чтобы уменьшить уровень шума, возникающего в результате обратного тока; и их чувствительный объем был довольно мелким. Такие детекторы не получили широкого применения. В 1960-х годах полупроводниковые детекторы на основе поверхностно-барьерного перехода в Si нашли практическое применение. Для поверхностно-барьерного детектора глубина W чувствительного объема определяется величиной напряжения отсечки V

Для проведения исследования и эксперимента потребуется разновидность полупроводникового детектора, а именно монокристаллического кремния. Эксперимент включает в себя измерение удельного электрического сопротивления (у.э.с.) монокристаллического кремния до и после облучения, облучение неизвестным флюенсом нейтронов, отжиг радиационных дефектов в кремнии после каждого облучения. При облучении кремния тепловыми нейтронами за счет (n, γ) -реакции образуется фосфор. При этом концентрация трансмутационных ядер фосфора пропорциональна флюенсу тепловых нейтронов. Фосфор в монокристаллическом кремнии является донорной примесью, поэтому в кремнии n-типа он увеличивает проводимость (проводимость, по определению, является обратной величиной сопротивления), а в кремнии p-типа - уменьшает. В этом способе между изменением удельной электрической проводимости (у.э.п.) и флюенсом нейтронов существует линейная связь. При этом коэффициент пропорциональности один и тот же для любого исходного у.э.с. Отжиг кремния после облучения необходим для того, чтобы убрать радиационные дефекты, которые влияют на изменение у.э.п. Этим способом можно измерять флюенс тепловых нейтронов в широком диапазоне значений, от 10^{15} до 10^{18} см⁻², а детекторы по этому способу можно использовать в качестве детекторов сопровождения при облучении образцов. Кроме того, физическая информация (у.э.с.), в отличие, например, от активационного метода, сохраняется бесконечно долго, что позволяет в любой

момент времени пере проверить полученный результат измерения флюенса тепловых нейтронов. Недостатком этого способа является то, что для измерения абсолютных значений флюенса тепловых нейтронов требуется его калибровка с помощью других, более универсальных методов, например активационных.

Техническим результатом исследования является установление расчетами и экспериментами влияния флюенса быстрых нейтронов на удельных электрических сопротивлениях (у.э.с) простых полупроводников, в частности, кремния.

При облучении быстрыми нейтронами в кремнии, наряду с другими типами дефектов, образуются и сложные дефекты как донорного, так и акцепторного характера, являющиеся следствием взаимодействия вакансий и междоузельных атомов между собой и с атомами исходных химических примесей.

Для облучения использовали шайбы кремния n-типа безтигельной зонной плавки. С помощью технологии нейтронного трансмутационного легирования был подготовлен набор шайб с у.э.с. от 1,5 Ом·см до 14 кОм·см. Измерения у.э.с. проводили 4-х зондовым методом до и после облучения. Погрешность измерения среднего по торцу шайбы у.э.с. не превышала 2%. При необходимости, облученные шайбы возвращались к исходному у.э.с. путем отжига радиационных дефектов при температуре 800°C в течении 2 ч.

Расчеты и эксперименты показали, что изменение удельной электрической проводимости монокристаллического кремния в результате облучения быстрыми нейтронами прямо пропорционально флюенсу этих нейтронов. Коэффициент пропорциональности зависит от спектра нейтронов, но не зависит от исходной удельной электрической проводимости. При этом не имеет значения, был ли кремний ранее облучен или не облучен.

1.4 Метод Монте-Карло

Для проведения расчетов необходимо воспользоваться методом Монте-Карло. Метод Монте-Карло (методы Монте-Карло, ММК) — общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи. Используется для решения задач в различных областях физики, математики, экономики, оптимизации, теории управления и др.

Для работы с методами Монте-Карло используется пакет программ MSU. С его помощью было выполнено расчеты для поставленных задач.

Программный пакет MSU представляет собой графический интерфейс для MSU. Его основными функциями являются:

- Визуализировать входные данные для геометрического модуля NCG и генерировать сообщения об ошибках, если есть ошибки;
- Предоставлять текстовый редактор для входных данных MSU;
- Просматривать файлы после вычисления MSU;
- Начать расчеты в отдельном окне;

Кроме того, пользователю предоставляется ряд дополнительных функций:

- Генерировать версию кода MSU;
- Сравнить две фотографии;
- Нарисовать изображение согласно скорости реакции, полученной при расчете;
- Печатать текстовые надписи над цифрой, используя скорости реакции, полученные при расчете, а также количество материалов, площадей, объектов и другую информацию;
- Визуализировать входные данные исходного модуля MSU;

2 Практические расчеты

2.1 Геометрия реактора и каналов

Реактор ИРТ-Т состоит из 14 вертикальных экспериментальных каналов (ВЭК) и 10 горизонтальных каналов (ГЭК). Мощность – 6 МВт. Замедлитель – вода, отражатель – бериллий-вода. Плотность тепловых нейтронов – $1,7 \cdot 10^{14}$ н/см²с, плотность быстрых нейтронов – $2,0 \cdot 10^{13}$ н/см²с.

Для расчета использовались каналы ВЭК-1, ВЭК-4, ВЭК-5, ВЭК-11, ВЭК-13.

ВЭК-1 – канал диаметром 70 мм, окружен карбидом бора толщиной 0,8 см. Высота расчетной части 20 см.

ВЭК-4 – канал диаметром 70 мм, окружен слоем кадмия толщиной 0,5 см. Высота расчетной части 30 см.

ВЭК-5 – канал диаметром 70 мм, окружен слоем кадмия толщиной 0,5 см. Высота расчетной части 19,9 см.

ВЭК-11 – канал диаметром 70 мм, окружен алюминием толщиной 0,98 см, карбидом бора толщиной 0,8 см и кадмием толщиной 0,5 см. Высота расчетной части 24,5 см.

ВЭК-13 – канал диаметром 70 мм, окружен алюминием толщиной 0,98 см и кадмием толщиной 0,5 см. Длина расчетной части 30 см.

Изначальную модель реактора пришлось изменить. Канал ВЭК-3 был убран из-за выхода из строя, для расчетных каналов были добавлены слои кадмия через MSU Office10. Окончательная модель реактора представлена далее на рисунке 1.

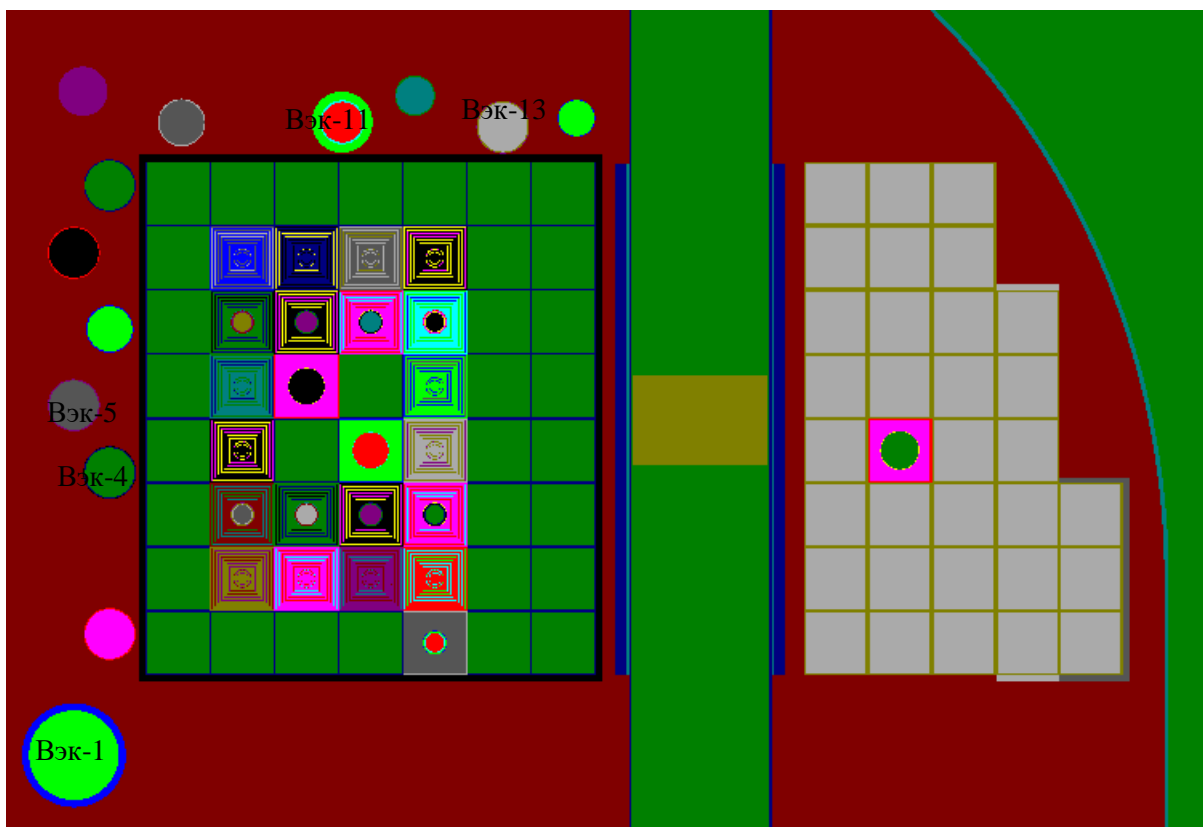


Рисунок 2 – Модель реактора ИРТ-Т (вид сверху)

2.2 Расчеты спектра и потока нейтронов

С помощью программы MCU был запущен расчет реактора при заданных условиях. На выходе были получены данные о потоке нейтронов и энергиях. Далее с помощью формулы(10) был рассчитан спектр нейтронов:

$$Ni = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{44} f_i}, \quad (10)$$

где f_i – Значение функционала в программе MCU[см⁻¹]

С помощью формулы (11) были рассчитаны потоки нейтронов:

$$F_n = \frac{P \cdot \nu \cdot f_i}{V \cdot E}, \quad (11)$$

где P – мощность(6МВт)

ν – Число вторичных нейтронов(2,43)

f_i – Значение потока в программе MCU

V – Объем регистрационной зоны

E – Энергия на одно деление (200МэВ)

Ниже на рисунке 2, рисунке 3, рисунке 4 и рисунке 5 представлены графики спектров в зависимости от энергии и потока нейтронов в зависимости от энергий.

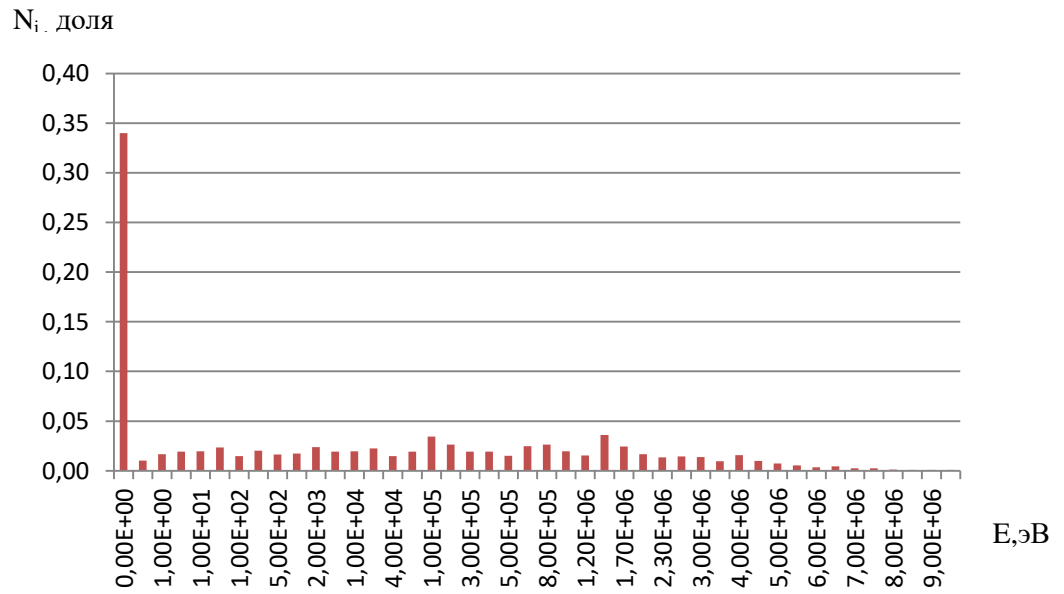


Рисунок 3 – Спектр(E,эВ) нейтронов в канале ВЭК-1

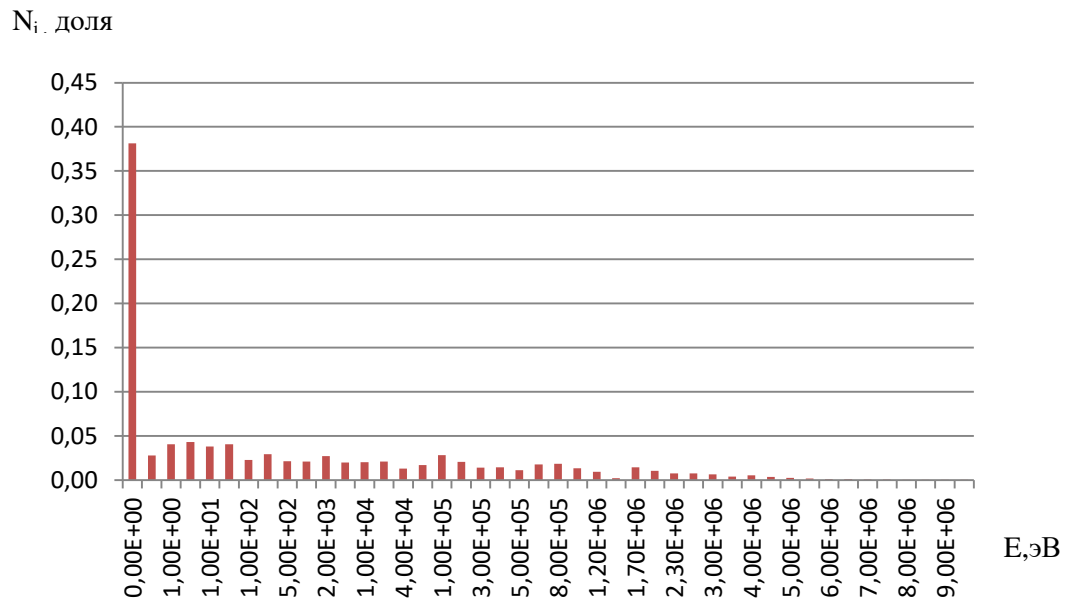


Рисунок 4 – Спектр(E,эВ) нейтронов в канале ВЭК-4

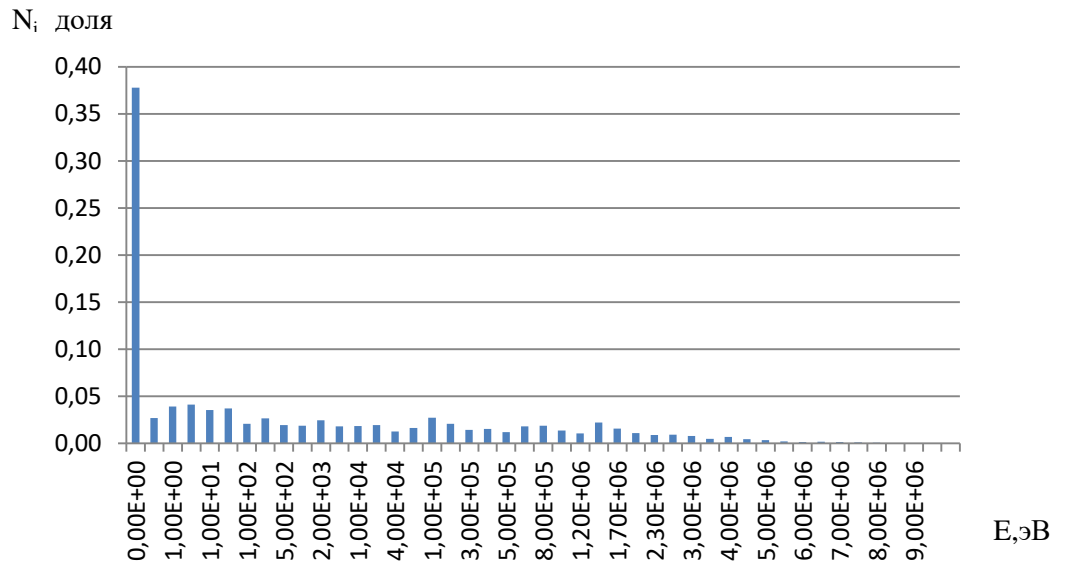


Рисунок 5 – Спектр(Е,эВ) нейтронов в канале ВЭК-5

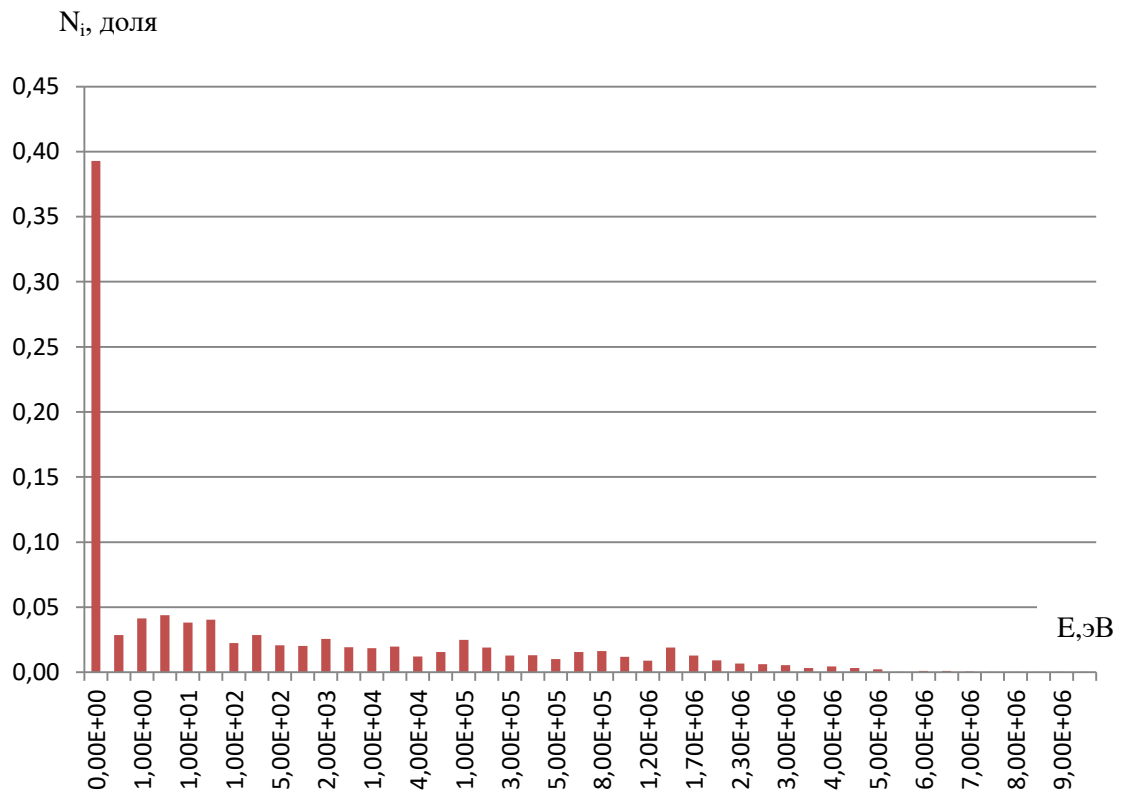


Рисунок 6 – Спектр(Е,эВ) нейтронов к канале ВЭК-13

В таблице 1 после расчетов по формуле (2) занесены плотности потоков в зонах каналов в зависимости от энергий

Таблица 1 – Плотность потока в зависимости от энергии

Энергия нейтронов E, эВ	Плотность потока нейтронов F_n , нейтр/(см ² •с)			
	Зона ВЭК-1	Зона ВЭК-4	Зона ВЭК-5	Зона ВЭК-13
0,00	$1,40 \cdot 10^{11}$	$5,77 \cdot 10^{12}$	$3,55 \cdot 10^{12}$	$2,84 \cdot 10^{12}$
1,00	$6,90 \cdot 10^9$	$6,11 \cdot 10^{11}$	$3,66 \cdot 10^{11}$	$3,00 \cdot 10^{11}$
3,00	$7,97 \cdot 10^9$	$6,53 \cdot 10^{11}$	$3,86 \cdot 10^{11}$	$3,17 \cdot 10^{11}$
$1,00 \cdot 10^1$	$8,00 \cdot 10^9$	$5,73 \cdot 10^{11}$	$3,33 \cdot 10^{11}$	$2,77 \cdot 10^{11}$
$3,00 \cdot 10^1$	$9,59 \cdot 10^9$	$6,10 \cdot 10^{11}$	$3,48 \cdot 10^{11}$	$2,92 \cdot 10^{11}$
$1,00 \cdot 10^2$	$6,05 \cdot 10^9$	$3,45 \cdot 10^{11}$	$1,95 \cdot 10^{11}$	$1,62 \cdot 10^{11}$
$2,00 \cdot 10^2$	$8,34 \cdot 10^9$	$4,42 \cdot 10^{11}$	$2,48 \cdot 10^{11}$	$2,06 \cdot 10^{11}$
$5,00 \cdot 10^2$	$6,73 \cdot 10^9$	$3,24 \cdot 10^{11}$	$1,82 \cdot 10^{11}$	$1,51 \cdot 10^{11}$
$1,00 \cdot 10^2$	$7,17 \cdot 10^9$	$3,16 \cdot 10^{11}$	$1,76 \cdot 10^{11}$	$1,46 \cdot 10^{11}$
$2,00 \cdot 10^3$	$9,72 \cdot 10^9$	$4,08 \cdot 10^{11}$	$2,28 \cdot 10^{11}$	$1,86 \cdot 10^{11}$
$5,00 \cdot 10^3$	$7,90 \cdot 10^9$	$3,00 \cdot 10^{11}$	$1,69 \cdot 10^{11}$	$1,39 \cdot 10^{11}$
$1,00 \cdot 10^4$	$8,12 \cdot 10^9$	$3,05 \cdot 10^{11}$	$1,70 \cdot 10^{11}$	$1,35 \cdot 10^{11}$
$2,00 \cdot 10^4$	$9,23 \cdot 10^9$	$3,15 \cdot 10^{11}$	$1,80 \cdot 10^{11}$	$1,42 \cdot 10^{11}$
$4,00 \cdot 10^4$	$6,02 \cdot 10^9$	$1,97 \cdot 10^{11}$	$1,16 \cdot 10^{11}$	$8,80 \cdot 10^{10}$
$6,00 \cdot 10^4$	$7,97 \cdot 10^9$	$2,57 \cdot 10^{11}$	$1,51 \cdot 10^{11}$	$1,13 \cdot 10^{11}$
$1,00 \cdot 10^5$	$1,42 \cdot 10^9$	$4,27 \cdot 10^{11}$	$2,54 \cdot 10^{11}$	$1,81 \cdot 10^{11}$
$2,00 \cdot 10^5$	$1,09 \cdot 10^9$	$3,10 \cdot 10^{11}$	$1,93 \cdot 10^{11}$	$1,38 \cdot 10^{11}$
$3,00 \cdot 10^5$	$7,90 \cdot 10^9$	$2,12 \cdot 10^{11}$	$1,32 \cdot 10^{11}$	$9,40 \cdot 10^{10}$
$4,00 \cdot 10^5$	$7,95 \cdot 10^9$	$2,19 \cdot 10^{11}$	$1,44 \cdot 10^{11}$	$9,53 \cdot 10^{10}$
$5,00 \cdot 10^5$	$6,20 \cdot 10^9$	$1,67 \cdot 10^{11}$	$1,09 \cdot 10^{11}$	$7,41 \cdot 10^{10}$
$6,00 \cdot 10^5$	$1,02 \cdot 10^9$	$2,66 \cdot 10^{11}$	$1,68 \cdot 10^{11}$	$1,13 \cdot 10^{11}$
$8,00 \cdot 10^5$	$1,09 \cdot 10^9$	$2,79 \cdot 10^{11}$	$1,73 \cdot 10^{11}$	$1,19 \cdot 10^{11}$
$1,00 \cdot 10^6$	$8,03 \cdot 10^9$	$2,00 \cdot 10^{11}$	$1,27 \cdot 10^{11}$	$8,61 \cdot 10^{10}$
$1,20 \cdot 10^6$	$6,32 \cdot 10^9$	$1,43 \cdot 10^{11}$	$9,66 \cdot 10^{10}$	$6,54 \cdot 10^{10}$
$1,40 \cdot 10^6$	$1,48 \cdot 10^9$	$3,22 \cdot 10^{10}$	$2,08 \cdot 10^{11}$	$1,37 \cdot 10^{11}$
$1,70 \cdot 10^6$	$1,01 \cdot 10^9$	$2,16 \cdot 10^{11}$	$1,45 \cdot 10^{11}$	$9,30 \cdot 10^{10}$
$2,00 \cdot 10^6$	$6,85 \cdot 10^9$	$1,56 \cdot 10^{11}$	$1,00 \cdot 10^{11}$	$6,57 \cdot 10^{10}$
$2,30 \cdot 10^6$	$5,56 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^{11}$	$8,09 \cdot 10^{10}$	$4,84 \cdot 10^{10}$
$2,60 \cdot 10^6$	$5,98 \cdot 10^9$	$1,12 \cdot 10^{11}$	$8,58 \cdot 10^{10}$	$4,58 \cdot 10^{10}$
$3,00 \cdot 10^6$	$5,66 \cdot 10^9$	$9,48 \cdot 10^{10}$	$7,32 \cdot 10^{10}$	$3,93 \cdot 10^{10}$
$3,50 \cdot 10^6$	$3,91 \cdot 10^9$	$5,94 \cdot 10^{10}$	$4,37 \cdot 10^{10}$	$2,41 \cdot 10^{10}$
$4,00 \cdot 10^6$	$6,45 \cdot 10^9$	$7,95 \cdot 10^{10}$	$6,25 \cdot 10^{10}$	$3,31 \cdot 10^{10}$
$4,50 \cdot 10^6$	$4,09 \cdot 10^9$	$5,34 \cdot 10^{10}$	$4,13 \cdot 10^{10}$	$2,38 \cdot 10^{10}$
$5,00 \cdot 10^6$	$2,95 \cdot 10^9$	$3,82 \cdot 10^{10}$	$2,98 \cdot 10^{10}$	$1,68 \cdot 10^{10}$
$5,50 \cdot 10^6$	$2,25 \cdot 10^9$	$2,43 \cdot 10^{10}$	$1,96 \cdot 10^{10}$	$2,93 \cdot 10^9$
$6,00 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^9$	$1,68 \cdot 10^{10}$	$1,27 \cdot 10^{10}$	$7,31 \cdot 10^9$
$6,50 \cdot 10^6$	$1,84 \cdot 10^9$	$1,62 \cdot 10^{10}$	$1,45 \cdot 10^{10}$	$7,34 \cdot 10^9$
$7,00 \cdot 10^6$	$1,06 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^{10}$	$1,03 \cdot 10^{10}$	$5,16 \cdot 10^9$
$7,50 \cdot 10^6$	$1,02 \cdot 10^9$	$7,22 \cdot 10^{10}$	$7,06 \cdot 10^9$	$3,33 \cdot 10^9$
$8,00 \cdot 10^6$	$5,51 \cdot 10^8$	$5,66 \cdot 10^9$	$4,11 \cdot 10^9$	$2,19 \cdot 10^9$
$8,50 \cdot 10^6$	$3,21 \cdot 10^8$	$3,22 \cdot 10^9$	$2,70 \cdot 10^9$	$1,93 \cdot 10^9$
$9,00 \cdot 10^6$	$3,62 \cdot 10^8$	$4,09 \cdot 10^9$	$3,62 \cdot 10^9$	$1,93 \cdot 10^9$
$1,00 \cdot 10^7$	$3,08 \cdot 10^8$	$3,23 \cdot 10^9$	$2,45 \cdot 10^9$	$1,28 \cdot 10^9$

В таблице 2 приведены плотности потоков с определенными значениями энергии в разных каналах.

Таблица 2 – Плотность потока в зависимости от значений (без воды)

Зоны	Плотность потоков с энергией больше 0,1 МэВ F_n , нейтр/(см ² •с)	Плотность потоков с энергией больше 3 МэВ F_n , нейтр/(см ² •с)
Зона ВЭК-1	$1,58 \cdot 10^{11}$	$3,21 \cdot 10^{10}$
Зона ВЭК-4	$3,27 \cdot 10^{12}$	$4,18 \cdot 10^{11}$
Зона ВЭК-5	$2,34 \cdot 10^{12}$	$3,27 \cdot 10^{11}$
Зона ВЭК-13	$1,53 \cdot 10^{12}$	$1,70 \cdot 10^{11}$

После расчетов в технологических зонах каналов вода была заменена на воздух, затем расчет был снова запущен. По формуле (1) и (2) были также вычислены спектры нейтронов и плотность потоков. Ниже на рисунке 7, рисунке 8, рисунке 9, рисунке 10 и рисунке 11 представлены графики спектров и таблицы с потоками в зависимости от энергии.

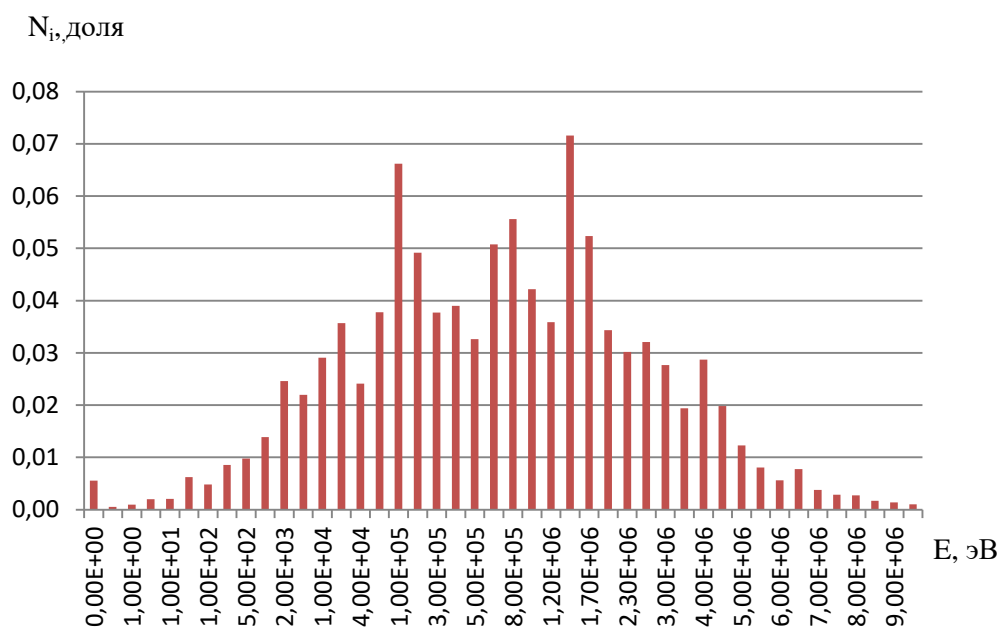


Рисунок 7 – Спектр(E,эВ) нейтронов в канале ВЭК-1(без воды)

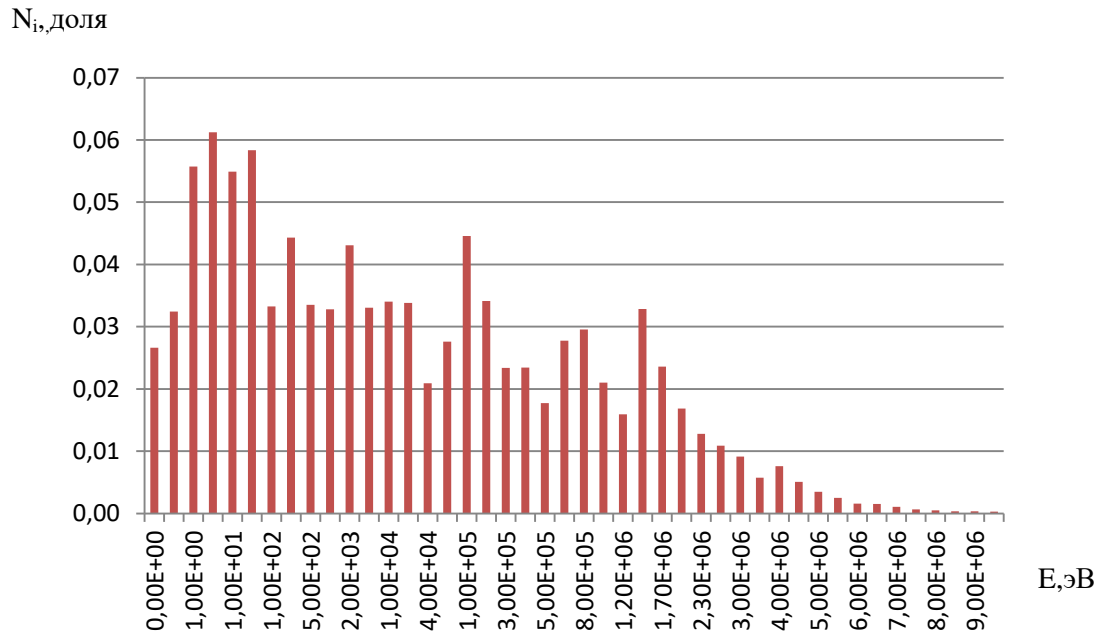


Рисунок 8 – Спектр(E , эВ) нейтронов в канале ВЭК-4(без воды)

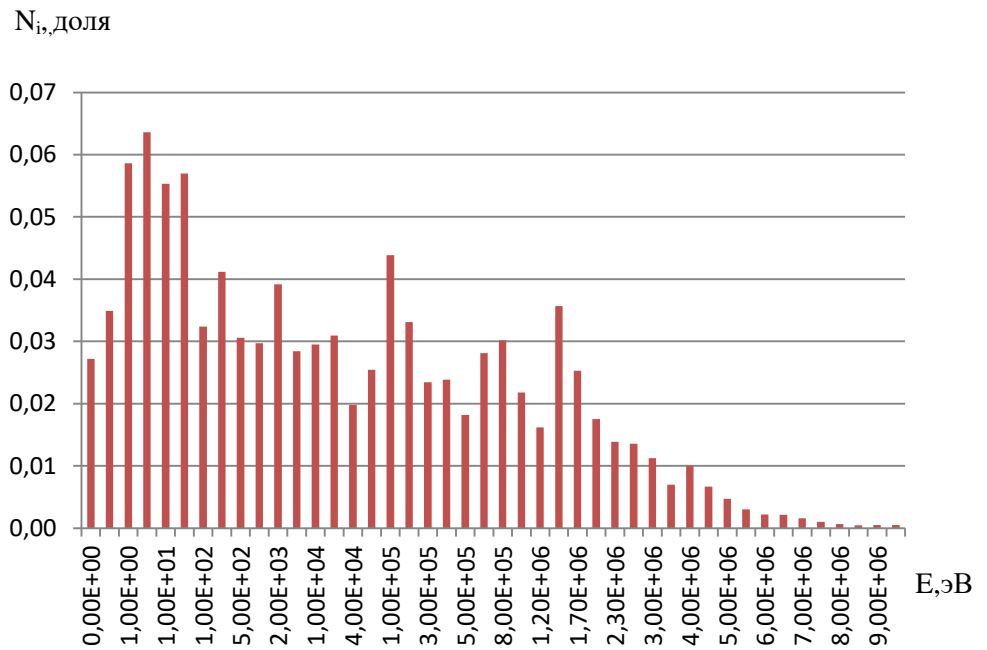


Рисунок 9 – Спектр(E , эВ) нейтронов в канале ВЭК-5(без воды)

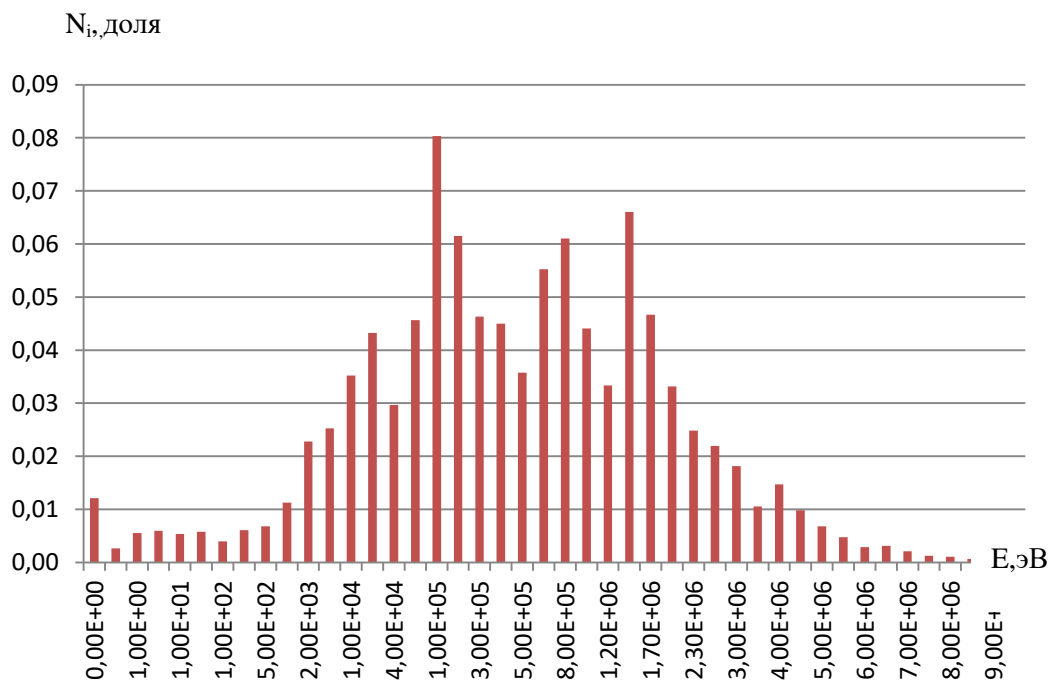


Рисунок 10 – Спектр(Е,эВ) нейтронов в канале ВЭК-11(без воды)

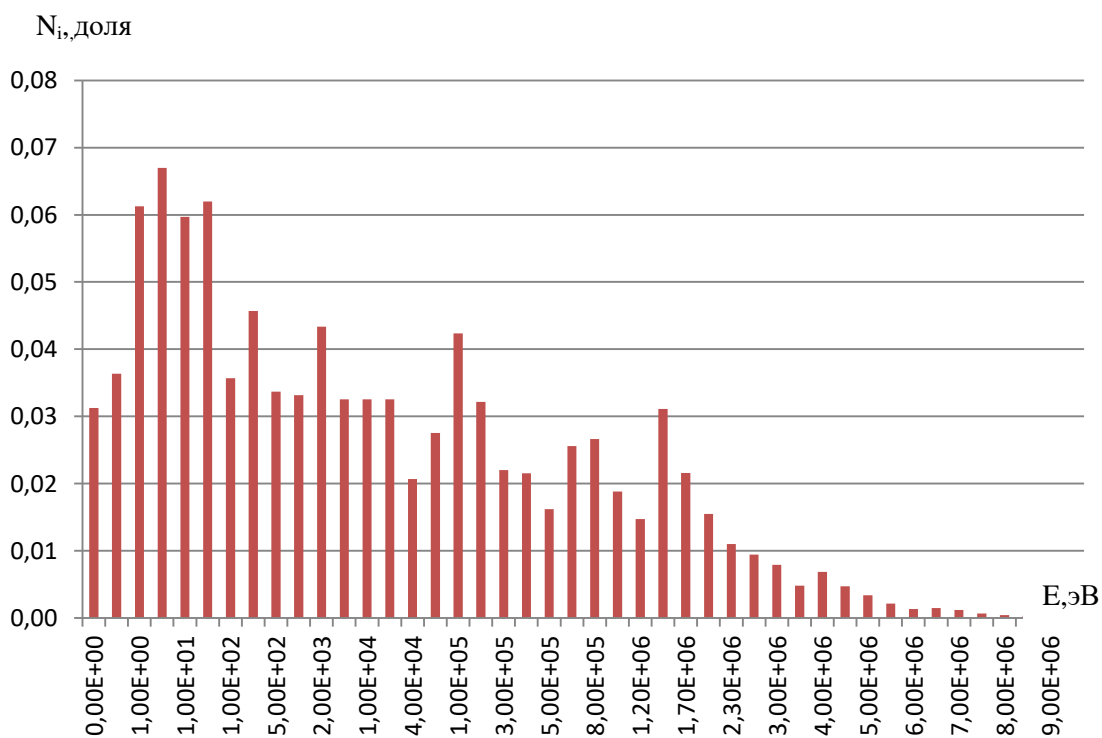


Рисунок 11 – Спектр(Е,эВ) нейтронов в канале ВЭК-13(без воды)

В таблице 3 указаны плотности потоков нейтронов для различных сухих каналов в зависимости от энергии.

Таблица 3 –Плотность потока в зависимости от энергии(без воды)

Энергия нейтронов E,эВ	Плотность потока нейтронов F_n , нейтр/(см ² •с)				
	Зона ВЭК- 1	Зона ВЭК- 4	Зона ВЭК- 5	Зона ВЭК- 11	Зона ВЭК- 13
0,00•10 ⁰⁰	1,87• 10 ¹⁰	3,60•10 ¹¹	2,22•10 ¹¹	6,42•10 ¹¹	1,99•10 ¹¹
5,00•10 ⁻¹	1,68• 10 ¹⁰	4,38•10 ¹¹	2,86•10 ¹¹	1,41•10 ¹¹	2,31•10 ¹¹
1,00•10 ⁰	3,18• 10 ¹⁰	7,53•10 ¹¹	4,80•10 ¹¹	2,93•10 ¹¹	3,89•10 ¹¹
3,00•10 ⁰	6,81• 10 ¹⁰	8,27•10 ¹¹	5,21•10 ¹¹	3,16•10 ¹¹	4,26•10 ¹¹
1,00•10 ¹	7,01• 10 ¹⁰	7,42•10 ¹¹	4,53•10 ¹¹	2,83•10 ¹¹	3,79•10 ¹¹
3,00•10 ¹	2,08• 10 ¹⁰	7,88•10 ¹¹	4,66•10 ¹¹	3,06•10 ¹¹	3,94•10 ¹¹
1,00•10 ²	1,63• 10 ¹⁰	4,49•10 ¹¹	2,65•10 ¹¹	2,09•10 ¹¹	2,26•10 ¹¹
2,00•10 ²	2,87• 10 ¹⁰	5,99•10 ¹¹	3,37•10 ¹¹	3,20•10 ¹¹	2,90•10 ¹¹
5,00•10 ²	3,28• 10 ¹⁰	4,52•10 ¹¹	2,50•10 ¹¹	3,61•10 ¹¹	2,14•10 ¹¹
1,00•10 ³	4,68• 10 ¹⁰	4,43•10 ¹¹	2,43•10 ¹¹	5,96•10 ¹¹	2,10•10 ¹¹
2,00•10 ³	8,26• 10 ¹⁰	5,82•10 ¹¹	3,21•10 ¹¹	1,20•10 ¹¹	2,75•10 ¹¹
5,00•10 ³	7,39• 10 ¹⁰	4,46•10 ¹¹	2,33•10 ¹¹	1,34•10 ¹¹	2,07•10 ¹¹
1,00•10 ⁴	9,77• 10 ¹⁰	4,60•10 ¹¹	2,42•10 ¹¹	1,86•10 ¹¹	2,06•10 ¹¹
2,00•10 ⁴	1,20• 10 ¹¹	4,58•10 ¹¹	2,54•10 ¹¹	2,29•10 ¹¹	2,06•10 ¹¹
4,00•10 ⁴	8,11• 10 ¹¹	2,82•10 ¹¹	1,62•10 ¹¹	1,57•10 ¹¹	1,31•10 ¹¹
6,00•10 ⁴	1,26• 10 ¹¹	3,73•10 ¹¹	2,08•10 ¹¹	2,42•10 ¹¹	1,75•10 ¹¹
1,00•10 ⁵	2,22• 10 ¹¹	6,02•10 ¹¹	3,60•10 ¹¹	4,25•10 ¹¹	2,69•10 ¹¹
2,00•10 ⁵	1,65• 10 ¹¹	4,61•10 ¹¹	2,71•10 ¹¹	3,25•10 ¹¹	2,04•10 ¹¹
3,00•10 ⁵	1,27• 10 ¹¹	3,16•10 ¹¹	1,92•10 ¹¹	2,45•10 ¹¹	1,40•10 ¹¹
4,00•10 ⁵	1,31• 10 ¹¹	3,16•10 ¹¹	1,95•10 ¹¹	2,38•10 ¹¹	1,37•10 ¹¹
5,00•10 ⁵	1,09• 10 ¹¹	2,40•10 ¹¹	1,49•10 ¹¹	1,89•10 ¹¹	1,03•10 ¹¹
6,00•10 ⁵	1,70• 10 ¹¹	3,75•10 ¹¹	2,30•10 ¹¹	2,92•10 ¹¹	1,62•10 ¹¹
8,00•10 ⁵	1,87• 10 ¹¹	4,00•10 ¹¹	2,47•10 ¹¹	3,23•10 ¹¹	1,69•10 ¹¹
1,00•10 ⁶	1,41• 10 ¹¹	2,84•10 ¹¹	1,78•10 ¹¹	2,33•10 ¹¹	1,19•10 ¹¹
1,20•10 ⁶	1,20• 10 ¹¹	2,15•10 ¹¹	1,33•10 ¹¹	1,76•10 ¹¹	0,93•10 ¹¹
1,40•10 ⁶	2,40• 10 ¹¹	4,44•10 ¹¹	2,92•10 ¹¹	3,49•10 ¹¹	1,97•10 ¹¹
1,70•10 ⁶	1,75• 10 ¹¹	3,18•10 ¹¹	2,07•10 ¹¹	2,47•10 ¹¹	1,37•10 ¹¹
2,00•10 ⁶	1,15• 10 ¹¹	2,27•10 ¹¹	1,43•10 ¹¹	1,75•10 ¹¹	0,98• 10 ¹¹
2,30•10 ⁶	1,07• 10 ¹¹	1,73•10 ¹¹	1,13•10 ¹¹	1,32•10 ¹¹	0,70• 10 ¹¹
2,60•10 ⁶	1,07• 10 ¹¹	1,47•10 ¹¹	1,11•10 ¹¹	1,16•10 ¹¹	0,60• 10 ¹¹
3,00•10 ⁶	0,93• 10 ¹⁰	1,23•10 ¹¹	0,92•10 ¹¹	0,96•10 ¹¹	0,50• 10 ¹¹
3,50•10 ⁶	0,65• 10 ¹⁰	0,78•10 ¹¹	0,57•10 ¹¹	0,56•10 ¹¹	0,30• 10 ¹¹
4,00•10 ⁶	0,96• 10 ¹⁰	1,02•10 ¹¹	0,82•10 ¹¹	0,78•10 ¹¹	0,44• 10 ¹¹
4,50•10 ⁶	0,67• 10 ¹⁰	0,68•10 ¹¹	0,54•10 ¹¹	0,52•10 ¹¹	0,30• 10 ¹¹
5,00•10 ⁶	0,41• 10 ¹⁰	0,46•10 ¹¹	0,38•10 ¹¹	0,36•10 ¹¹	0,22• 10 ¹¹
5,50•10 ⁶	0,27• 10 ¹⁰	0,34•10 ¹¹	0,24•10 ¹¹	0,25•10 ¹¹	0,14• 10 ¹¹
6,00•10 ⁶	0,19• 10 ¹⁰	0,21•10 ¹¹	0,18•10 ¹¹	0,15•10 ¹¹	0,87• 10 ¹⁰
6,50•10 ⁶	0,26• 10 ¹⁰	0,20•10 ¹¹	0,17•10 ¹¹	0,16•10 ¹¹	0,94• 10 ¹⁰
7,00•10 ⁶	0,12• 10 ¹⁰	0,15•10 ¹¹	0,13•10 ¹¹	0,11•10 ¹¹	0,78• 10 ¹⁰
7,50•10 ⁶	0,95• 10 ¹⁰	0,91•10 ¹⁰	0,81•10 ¹⁰	0,66•10 ¹⁰	0,42• 10 ¹⁰
8,00•10 ⁶	0,92• 10 ¹⁰	0,68•10 ¹⁰	0,55•10 ¹⁰	0,57•10 ¹⁰	0,23• 10 ¹⁰
8,50•10 ⁶	0,56• 10 ¹⁰	0,48•10 ¹⁰	0,38•10 ¹⁰	0,34•10 ¹⁰	0,23• 10 ¹⁰
9,00•10 ⁶	0,47• 10 ¹⁰	0,49•10 ¹⁰	0,43•10 ¹⁰	0,37•10 ¹⁰	0,26• 10 ¹⁰
1,00•10 ⁷	0,35• 10 ¹⁰	0,41•10 ¹⁰	0,39•10 ¹⁰	0,33•10 ¹⁰	0,21• 10 ¹⁰

В таблице 4 приведены плотности потоков с определенными значениями энергии в сухих различных каналах.

Таблица 4 – Плотность потока в зависимости от значений(без воды)

Зоны	Плотность потоков с энергией больше 0,1 МэВ F_n , нейтр/(см ² •с)	Плотность потоков с энергией больше 3 МэВ F_n , нейтр/(см ² •с)
Зона ВЭК-1	$2,60 \cdot 10^{11}$	$4,8 \cdot 10^{11}$
Зона ВЭК-4	$5,05 \cdot 10^{12}$	$5,38 \cdot 10^{11}$
Зона ВЭК-5	$3,24 \cdot 10^{12}$	$4,23 \cdot 10^{11}$
Зона ВЭК-11	$3,87 \cdot 10^{12}$	$4,08 \cdot 10^{11}$
Зона ВЭК-13	$2,19 \cdot 10^{12}$	$2,30 \cdot 10^{11}$

Сделанные расчеты пригодятся для дальнейшего исследования и расчетов.

Также была установлена зависимость между подвижностью неосновных носителей заряда в полупроводниковом кристаллическом кремнии и флюенсом быстрых нейтронов через формулу (12)

$$\frac{1}{\mu_n} = \frac{1}{\mu_0} + K_\mu \cdot \Phi, \quad (12)$$

где μ_n – подвижность неосновных носителей заряда

μ_0 – Подвижность основных носителей заряда

K_μ – Эмпирический коэффициент подвижности

Φ – Флюенс быстрых нейтронов

Для флюенса нейтронов существует формула (13):

$$\Phi = \frac{\sigma_0 - \sigma}{\mu_n \cdot e \cdot \Sigma_d}, \quad (13)$$

где σ – Проводимость монокристаллического кремния после облучения

σ_0 – Проводимость монокристаллического кремния до облучения

e – Заряд электрона

μ_n – Подвижность зарядов в кремнии

Σ_d – Макроскопическое сечение дефектообразования в кремнии

Для расчета концентрации неосновных носителей заряда использовалась формула (14):

$$N = N_0 \cdot \sigma \cdot \nu_l \cdot \Phi, \quad (14)$$

где σ – Проводимость монокристаллического кремния после облучения

N_0 – Концентрация носителей заряда до облучения

ν_l – Коэффициент размножения зарядов

Φ – Флюенс нейтронов

2.3 Расчеты необлученного кремния

Теперь требуется рассчитать подвижность в необлученном кремнии. Для этого можно воспользоваться эффектом Холла. Эффект состоит в возникновении на боковых гранях элемента с током, помещенного в поперечное магнитное поле, разности потенциалов $\Delta\varphi_H$, пропорциональной величине тока I и индукции магнитного поля B .

$$\Delta\varphi_H = \frac{R_H \cdot B \cdot I}{d}, \quad (15)$$

где d – Толщина образца

$\Delta\varphi_H$ – Разность потенциалов

B – Индукция магнитного поля

I – Сила тока

R_H – Постоянная Холла

Величина R_H называется постоянной, или коэффициентом Холла. По формуле (16) находим постоянную Холла:

$$R_H = \frac{1}{n \cdot e}, \quad (16)$$

Концентрация носителей заряда для простого кремния известна. $n_i = 5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$. $R_H = 0.000125 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}$.

По формуле (17):

$$\mu = \sigma \cdot R_H, \quad (17)$$

находим подвижность заряда в необлученном кремнии. Проводимость кремния также известна. При $T=300 \text{ К}$ $\sigma = 10 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. $\mu = 0.00125 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$

Облучение проводилось в течение нескольких часов. При облучении в течение 1 часа, 2 часов, 3 часов, 4 часов, 6 часов и 12 часов получены результаты, представленные в таблицах 5, 6, 7, 8, 9

Таблица 5 – Подвижность носителей заряда в кремнии в канале ВЭК-1 при большом времени облучения

Плотность потока нейтронов	Подвижность носителей заряда при разном времени облучения, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$					
	1ч	2ч	3ч	4ч	6ч	12ч
$9,31\cdot 10^9$	$5,41\cdot 10^1$	$2,71\cdot 10^1$	$1,80\cdot 10^1$	$1,35\cdot 10^1$	$9,02\cdot 10^0$	$4,51\cdot 10^0$
$6,52\cdot 10^9$	$2,40\cdot 10^1$	$1,20\cdot 10^1$	$7,99\cdot 10^0$	$6,00\cdot 10^0$	$4,00\cdot 10^0$	$2,00\cdot 10^0$
$9,64\cdot 10^9$	$1,19\cdot 10^2$	$5,94\cdot 10^1$	$3,96\cdot 10^1$	$2,97\cdot 10^1$	$1,98\cdot 10^1$	$9,90\cdot 10^0$
$6,67\cdot 10^9$	$1,33\cdot 10^4$	$6,63\cdot 10^3$	$4,42\cdot 10^3$	$3,32\cdot 10^3$	$2,21\cdot 10^3$	$1,11\cdot 10^3$
$4,14\cdot 10^9$	$7,54\cdot 10^3$	$3,77\cdot 10^3$	$2,51\cdot 10^3$	$1,89\cdot 10^3$	$1,26\cdot 10^3$	$6,29\cdot 10^2$
$2,71\cdot 10^9$	$3,71\cdot 10^4$	$1,86\cdot 10^4$	$1,24\cdot 10^4$	$9,28\cdot 10^3$	$6,18\cdot 10^3$	$3,09\cdot 10^3$
$1,88\cdot 10^9$	$7,64\cdot 10^4$	$3,82\cdot 10^4$	$2,55\cdot 10^4$	$1,91\cdot 10^4$	$1,27\cdot 10^4$	$6,37\cdot 10^3$
$2,61\cdot 10^9$	$6,12\cdot 10^4$	$3,06\cdot 10^4$	$2,04\cdot 10^4$	$1,53\cdot 10^4$	$1,02\cdot 10^4$	$5,10\cdot 10^3$
$1,27\cdot 10^9$	$1,08\cdot 10^3$	$5,39\cdot 10^2$	$3,59\cdot 10^2$	$2,69\cdot 10^2$	$1,80\cdot 10^2$	$8,98\cdot 10^1$
$9,53\cdot 10^8$	$4,72\cdot 10^3$	$2,36\cdot 10^3$	$1,57\cdot 10^3$	$1,18\cdot 10^3$	$7,86\cdot 10^2$	$3,93\cdot 10^2$
$9,30\cdot 10^8$	$6,14\cdot 10^3$	$3,07\cdot 10^3$	$2,05\cdot 10^3$	$1,54\cdot 10^3$	$1,02\cdot 10^3$	$5,12\cdot 10^2$
$5,67\cdot 10^8$	$3,06\cdot 10^4$	$1,53\cdot 10^4$	$1,02\cdot 10^4$	$7,65\cdot 10^3$	$5,10\cdot 10^3$	$2,55\cdot 10^3$
$4,68\cdot 10^8$	$5,34\cdot 10^4$	$2,67\cdot 10^4$	$1,78\cdot 10^4$	$1,33\cdot 10^4$	$8,89\cdot 10^3$	$4,45\cdot 10^3$
$3,49\cdot 10^8$	$1,68\cdot 10^6$	$8,41\cdot 10^5$	$5,61\cdot 10^5$	$4,20\cdot 10^5$	$2,80\cdot 10^5$	$1,40\cdot 10^5$

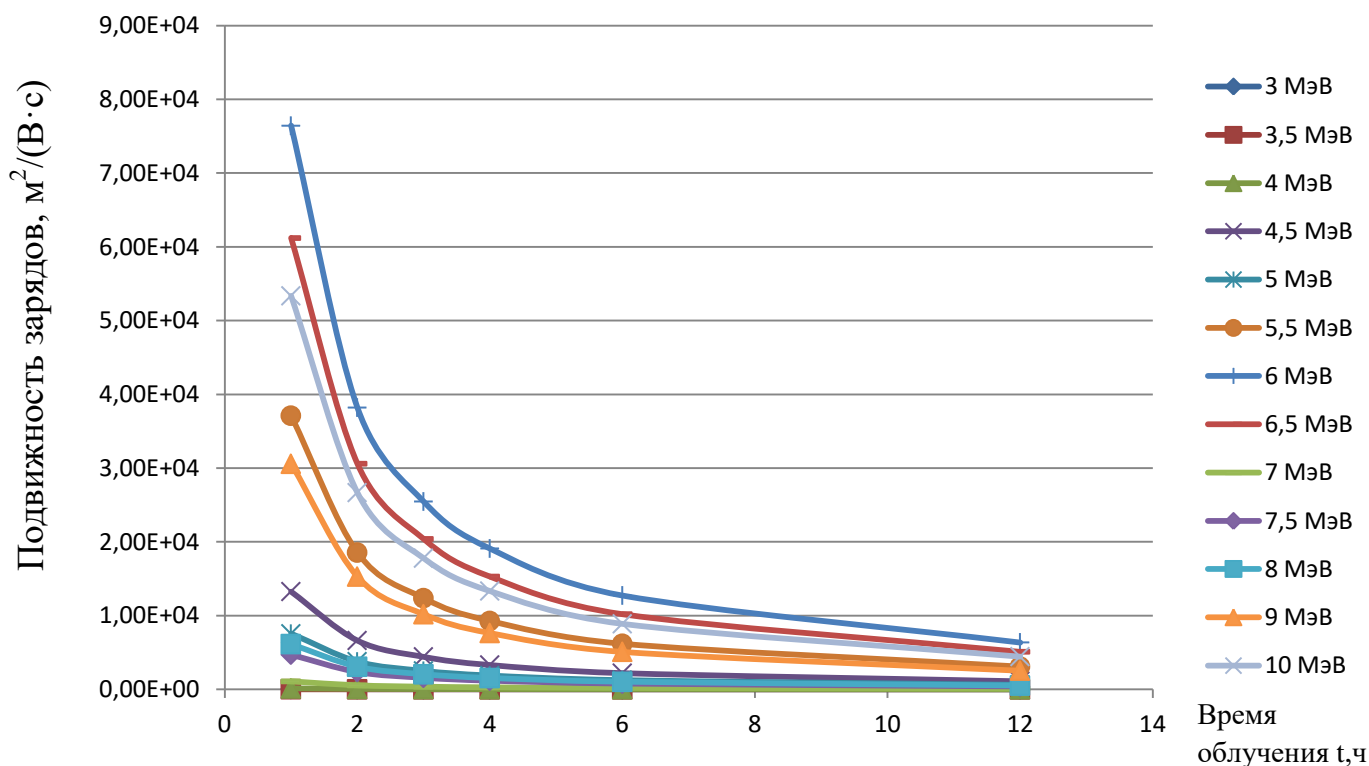


Рисунок 12 – Зависимость подвижности носителей заряда в кремнии от времени облучения в канале ВЭК-1 при различных энергиях нейтронов

Таблица 6 – Подвижность носителей заряда в кремнии в канале ВЭК-4 при большом времени облучения

Плотность потока нейтронов	Подвижность заряда при разном времени облучения, м ² /(В·с)					
	1ч	2ч	3ч	4ч	6ч	12ч
1,2310 ¹¹	4,08•10 ⁰	2,04•10 ⁰	1,36•10 ⁰	1,02•10 ⁰	6,81•10 ⁻¹	3,40•10 ⁻¹
7,7910 ¹⁰	2,01•10 ⁰	1,20•10 ¹	6,69•10 ¹	5,02•10 ⁻¹	3,34•10 ⁻¹	1,67•10 ⁻¹
1,0210 ¹¹	1,12•10 ¹	5,94•10 ¹	3,73•10 ⁰	2,80•10 ⁰	1,87•10 ⁰	9,33•10 ⁻¹
6,8310 ¹⁰	1,30•10 ³	6,63•10 ³	4,32•10 ²	3,24•10 ²	2,16•10 ²	1,08•10 ²
4,6710 ¹⁰	6,69•10 ²	3,77•10 ³	2,23•10 ²	1,67•10 ²	1,11•10 ²	5,57•10 ¹
3,3610 ¹⁰	2,99•10 ³	1,86•10 ⁴	9,98•10 ²	7,48•10 ²	4,99•10 ²	2,49•10 ²
2,1710 ¹⁰	6,65•10 ³	3,82•10 ⁴	2,22•10 ³	1,66•10 ³	1,11•10 ³	5,54•10 ²
2,0610 ¹⁰	7,76•10 ³	3,06•10 ⁴	2,59•10 ³	1,94•10 ³	1,29•10 ³	6,47•10 ²
1,4510 ¹⁰	9,46•10 ¹	5,39•10 ²	3,15•10 ¹	2,37•10 ¹	1,58•10 ¹	7,89•10 ⁰
9,0910 ⁹	4,95•10 ²	2,36•10 ³	1,65•10 ²	1,24•10 ²	8,25•10 ¹	4,12•10 ¹
6,8110 ⁹	8,39•10 ²	3,07•10 ³	2,80•10 ²	2,10•10 ²	1,40•10 ²	6,99•10 ¹
4,7910 ⁹	3,62•10 ³	1,53•10 ⁴	1,21•10 ³	9,05•10 ²	6,03•10 ²	3,02•10 ²
4,9110 ⁹	5,09•10 ³	2,67•10 ⁴	1,70•10 ³	1,27•10 ³	8,48•10 ²	4,24•10 ²
4,1410 ⁹	1,42•10 ⁵	8,41•10 ⁵	4,72•10 ⁴	3,54•10 ⁴	2,36•10 ⁴	1,18•10 ⁴

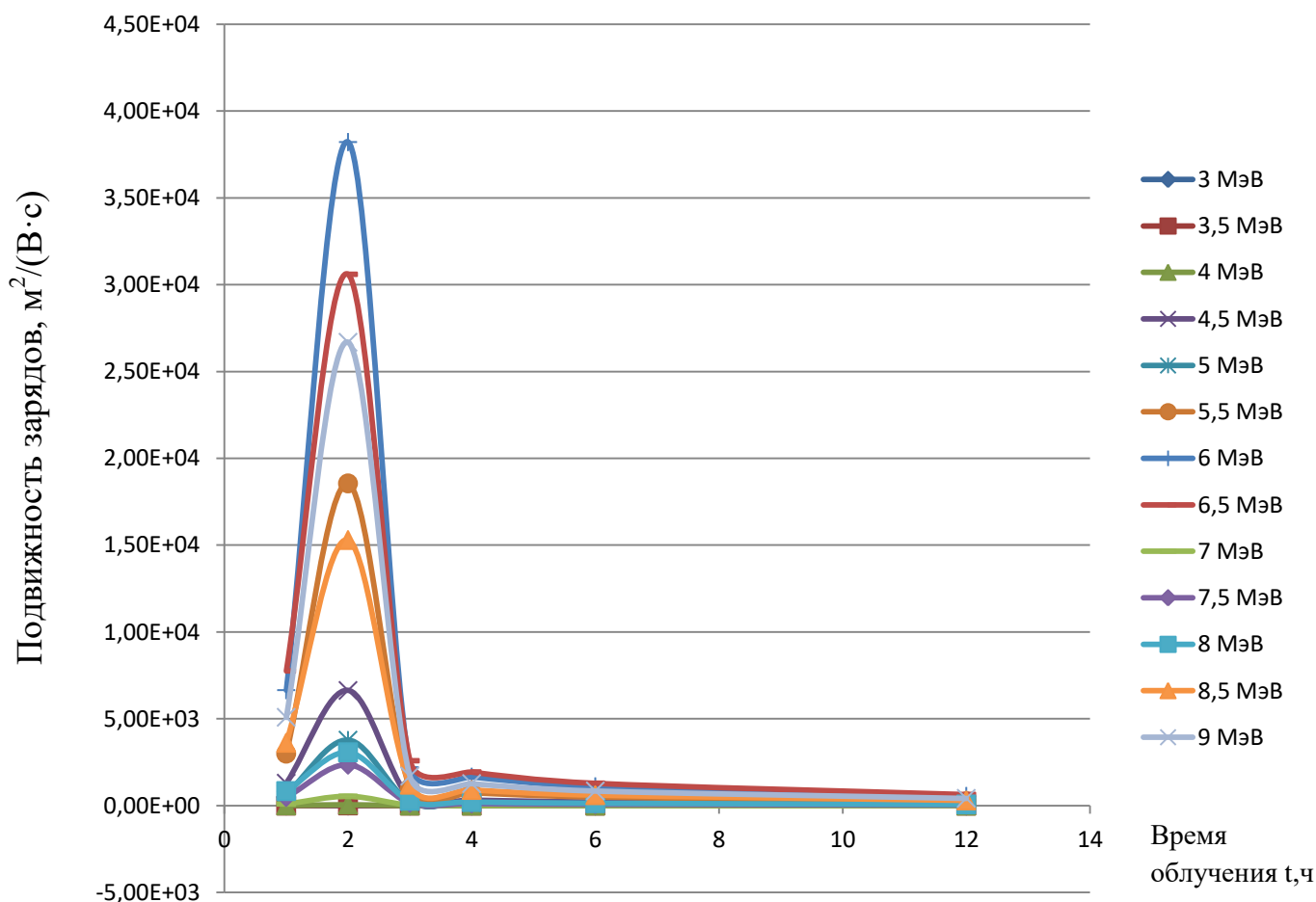


Рисунок 13 – Зависимость подвижности носителей заряда в кремнии от времени облучения в канале ВЭК-4 при различных энергиях нейтронов

Таблица 7 – Подвижность носителей заряда в кремнии в канале ВЭК-5 при большом времени облучения

Плотность потока нейтронов	Подвижность носителей заряда при разном времени облучения, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$					
	1ч	2ч	3ч	4ч	6ч	12ч
$9,2010^{10}$	$5,47\cdot 10^0$	$2,74\cdot 10^0$	$1,82\cdot 10^0$	$1,37\cdot 10^0$	$9,12\cdot 10^{-1}$	$4,56\cdot 10^{-1}$
$5,7310^{10}$	$2,73\cdot 10^0$	$1,36\cdot 10^0$	$9,09\cdot 10^1$	$6,82\cdot 10^1$	$4,54\cdot 10^{-1}$	$2,27\cdot 10^{-1}$
$8,2010^{10}$	$1,40\cdot 10^1$	$6,98\cdot 10^0$	$4,66\cdot 10^0$	$3,49\cdot 10^0$	$2,33\cdot 10^0$	$1,16\cdot 10^0$
$5,4710^{10}$	$1,62\cdot 10^3$	$8,09\cdot 10^2$	$5,39\cdot 10^2$	$4,04\cdot 10^2$	$2,70\cdot 10^2$	$1,35\cdot 10^2$
$3,8710^{10}$	$8,07\cdot 10^2$	$4,03\cdot 10^2$	$2,69\cdot 10^2$	$2,02\cdot 10^2$	$1,34\cdot 10^2$	$6,72\cdot 10^1$
$2,4710^{10}$	$4,08\cdot 10^3$	$2,04\cdot 10^3$	$1,36\cdot 10^3$	$1,02\cdot 10^3$	$6,80\cdot 10^2$	$3,40\cdot 10^2$
$1,7810^{10}$	$8,10\cdot 10^3$	$4,05\cdot 10^3$	$2,70\cdot 10^3$	$2,03\cdot 10^3$	$1,35\cdot 10^3$	$6,75\cdot 10^2$
$1,7410^{10}$	$9,19\cdot 10^3$	$4,59\cdot 10^3$	$3,06\cdot 10^3$	$2,30\cdot 10^3$	$1,53\cdot 10^3$	$7,66\cdot 10^2$
$1,2810^{10}$	$1,07\cdot 10^2$	$5,34\cdot 10^1$	$3,56\cdot 10^1$	$2,67\cdot 10^1$	$1,78\cdot 10^1$	$8,90\cdot 10^0$
$8,1910^9$	$5,49\cdot 10^2$	$2,74\cdot 10^2$	$1,83\cdot 10^2$	$1,37\cdot 10^2$	$9,15\cdot 10^1$	$4,57\cdot 10^1$
$5,5210^9$	$1,03\cdot 10^3$	$5,17\cdot 10^2$	$3,45\cdot 10^2$	$2,59\cdot 10^2$	$1,72\cdot 10^2$	$8,62\cdot 10^1$
$3,8210^9$	$4,55\cdot 10^3$	$2,27\cdot 10^3$	$1,52\cdot 10^3$	$1,14\cdot 10^3$	$7,58\cdot 10^2$	$3,79\cdot 10^2$
$4,2710^9$	$5,85\cdot 10^3$	$2,93\cdot 10^3$	$1,95\cdot 10^3$	$1,46\cdot 10^3$	$9,76\cdot 10^2$	$4,88\cdot 10^2$
$3,9410^9$	$1,49\cdot 10^5$	$7,45\cdot 10^4$	$4,96\cdot 10^4$	$3,72\cdot 10^4$	$2,48\cdot 10^4$	$1,24\cdot 10^4$

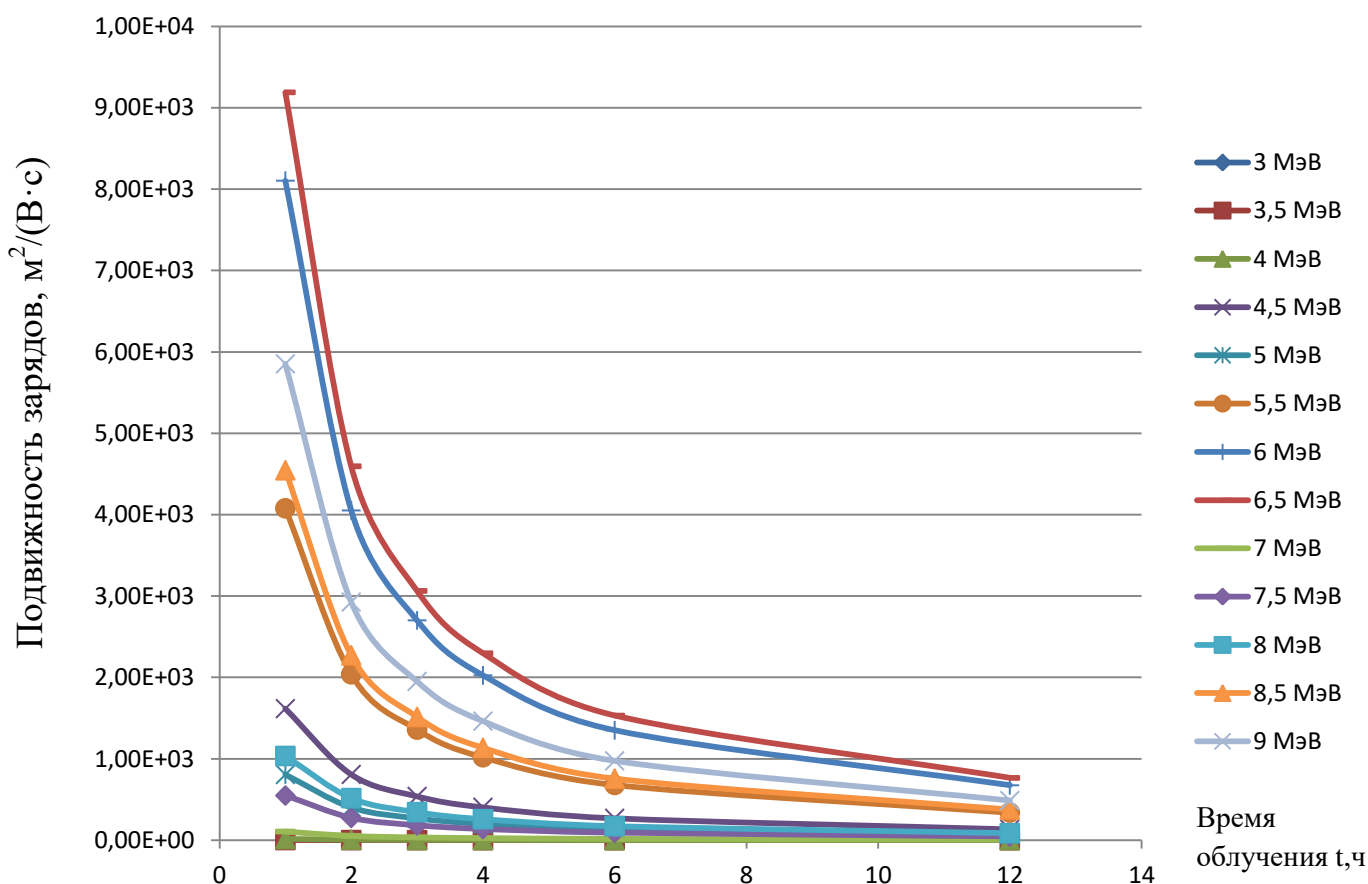


Рисунок 14 – Зависимость подвижности носителей заряда в кремнии от времени облучения в канале ВЭК-5 при различных энергиях нейтронов

Таблица 8 – Подвижность носителей заряда в кремнии в канале ВЭК-11 при большом времени облучения

Плотность потока нейтронов	Подвижность носителей заряда при разном времени облучения, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$					
	1ч	2ч	3ч	4ч	6ч	12ч
$9,62\cdot 10^{10}$	$5,24\cdot 10^0$	$2,62\cdot 10^0$	$1,75\cdot 10^0$	$1,31\cdot 10^0$	$8,73\cdot 10^{-1}$	$4,36\cdot 10^{-1}$
$5,60\cdot 10^{10}$	$2,79\cdot 10^0$	$1,40\cdot 10^0$	$9,31\cdot 10^{-1}$	$6,98\cdot 10^{-1}$	$4,65\cdot 10^{-1}$	$2,33\cdot 10^{-1}$
$7,80\cdot 10^{10}$	$1,47\cdot 10^1$	$7,35\cdot 10^0$	$4,90\cdot 10^0$	$3,67\cdot 10^0$	$2,45\cdot 10^0$	$1,22\cdot 10^0$
$5,19\cdot 10^{10}$	$1,71\cdot 10^3$	$8,53\cdot 10^2$	$5,69\cdot 10^2$	$4,27\cdot 10^2$	$2,84\cdot 10^2$	$1,42\cdot 10^2$
$3,60\cdot 10^{10}$	$8,67\cdot 10^2$	$4,33\cdot 10^2$	$2,89\cdot 10^2$	$2,17\cdot 10^2$	$1,44\cdot 10^2$	$7,22\cdot 10^1$
$2,52\cdot 10^{10}$	$4,00\cdot 10^3$	$2,00\cdot 10^3$	$1,33\cdot 10^3$	$1,00\cdot 10^3$	$6,67\cdot 10^2$	$3,33\cdot 10^2$
$1,53\cdot 10^{10}$	$9,42\cdot 10^3$	$4,71\cdot 10^3$	$3,14\cdot 10^3$	$2,36\cdot 10^3$	$1,57\cdot 10^3$	$7,85\cdot 10^2$
$1,65\cdot 10^{10}$	$9,69\cdot 10^3$	$4,85\cdot 10^3$	$3,23\cdot 10^3$	$2,42\cdot 10^3$	$1,62\cdot 10^3$	$8,08\cdot 10^2$
$1,12\cdot 10^{10}$	$1,22\cdot 10^2$	$6,12\cdot 10^1$	$4,08\cdot 10^1$	$3,06\cdot 10^1$	$2,04\cdot 10^1$	$1,02\cdot 10^1$
$6,64\cdot 10^9$	$6,77\cdot 10^2$	$3,39\cdot 10^2$	$2,26\cdot 10^2$	$1,69\cdot 10^2$	$1,13\cdot 10^2$	$5,65\cdot 10^1$
$5,69\cdot 10^9$	$1,00\cdot 10^3$	$5,02\cdot 10^2$	$3,35\cdot 10^2$	$2,51\cdot 10^2$	$1,67\cdot 10^2$	$8,37\cdot 10^1$
$3,43\cdot 10^9$	$5,06\cdot 10^3$	$2,53\cdot 10^3$	$1,69\cdot 10^3$	$1,27\cdot 10^3$	$8,43\cdot 10^2$	$4,22\cdot 10^2$
$3,68\cdot 10^9$	$6,79\cdot 10^3$	$3,40\cdot 10^3$	$2,26\cdot 10^3$	$1,70\cdot 10^3$	$1,13\cdot 10^3$	$5,66\cdot 10^2$
$3,34\cdot 10^9$	$1,76\cdot 10^5$	$8,79\cdot 10^4$	$5,86\cdot 10^4$	$4,39\cdot 10^4$	$2,93\cdot 10^4$	$1,46\cdot 10^4$

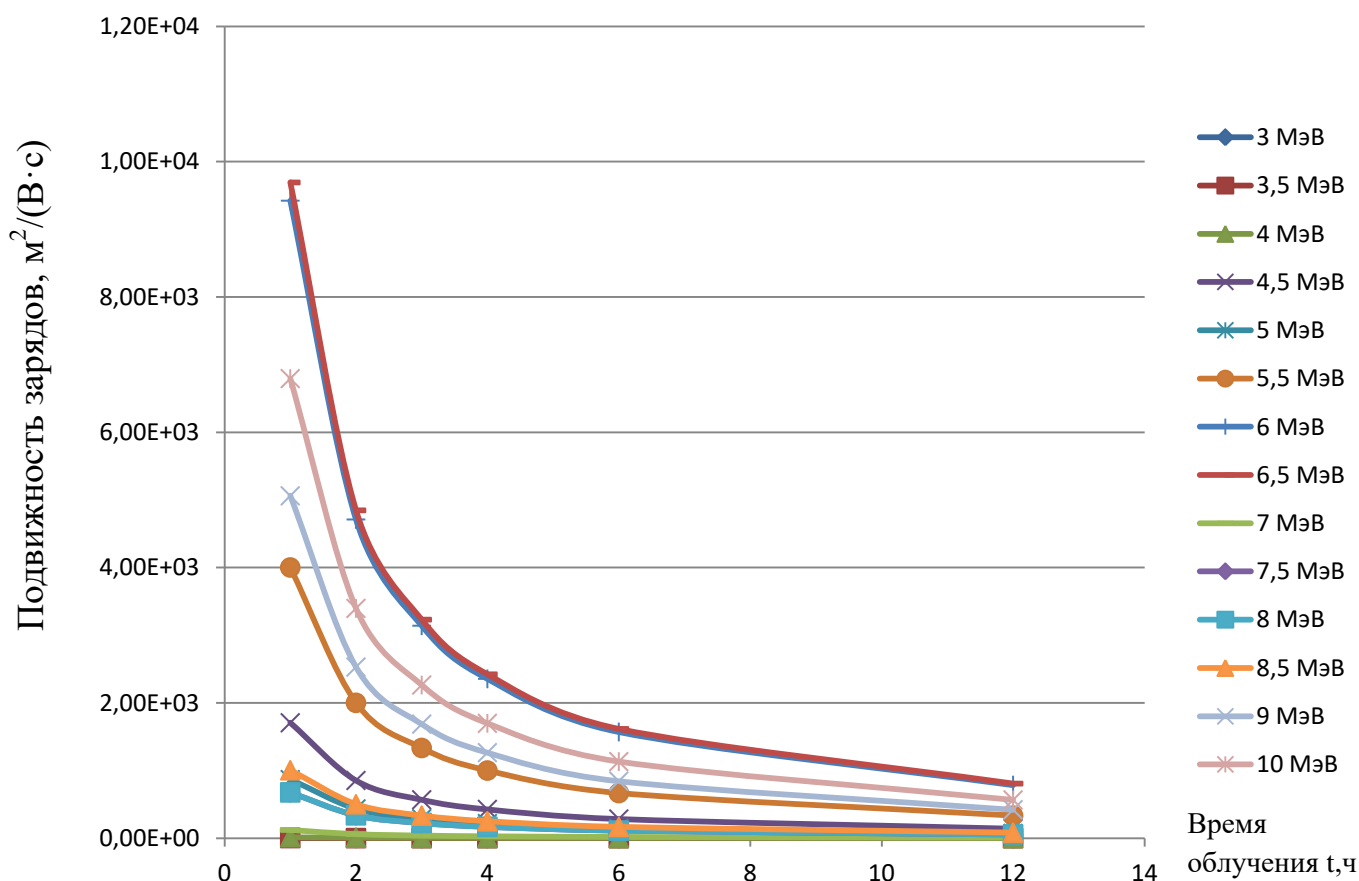


Рисунок 15 – Зависимость подвижности носителей заряда в кремнии от времени облучения в канале ВЭК-11 при различных энергиях нейтронов

Таблица 9 – Подвижность носителей заряда в кремнии в канале ВЭК-13 при большом времени облучения

Плотность потока нейтронов	Подвижность носителей заряда при разном времени облучения, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$					
	1ч	2ч	3ч	4ч	6ч	12ч
$5,05\cdot 10^{10}$	$9,96\cdot 10^0$	$4,98\cdot 10^0$	$3,32\cdot 10^0$	$2,49\cdot 10^0$	$1,66\cdot 10^0$	$8,30\cdot 10^{-1}$
$3,07\cdot 10^{10}$	$5,09\cdot 10^0$	$2,55\cdot 10^0$	$1,70\cdot 10^0$	$1,27\cdot 10^0$	$8,49\cdot 10^{-1}$	$4,24\cdot 10^{-1}$
$4,36\cdot 10^{10}$	$2,63\cdot 10^1$	$1,31\cdot 10^1$	$8,75\cdot 10^0$	$6,56\cdot 10^0$	$4,38\cdot 10^0$	$2,19\cdot 10^0$
$3,01\cdot 10^{10}$	$2,94\cdot 10^3$	$1,47\cdot 10^3$	$9,80\cdot 10^2$	$7,35\cdot 10^2$	$4,90\cdot 10^2$	$2,45\cdot 10^2$
$2,16\cdot 10^{10}$	$1,44\cdot 10^3$	$7,22\cdot 10^2$	$4,81\cdot 10^2$	$3,61\cdot 10^2$	$2,41\cdot 10^2$	$1,20\cdot 10^2$
$1,38\cdot 10^{10}$	$7,28\cdot 10^3$	$3,64\cdot 10^3$	$2,43\cdot 10^3$	$1,82\cdot 10^3$	$1,21\cdot 10^3$	$6,07\cdot 10^2$
$8,72\cdot 10^9$	$1,65\cdot 10^4$	$8,26\cdot 10^3$	$5,51\cdot 10^3$	$4,13\cdot 10^3$	$2,75\cdot 10^3$	$1,38\cdot 10^3$
$9,41\cdot 10^9$	$1,70\cdot 10^4$	$8,48\cdot 10^3$	$5,66\cdot 10^3$	$4,24\cdot 10^3$	$2,83\cdot 10^3$	$1,41\cdot 10^3$
$7,84\cdot 10^9$	$1,75\cdot 10^2$	$8,75\cdot 10^1$	$5,83\cdot 10^1$	$4,37\cdot 10^1$	$2,92\cdot 10^1$	$1,46\cdot 10^1$
$4,25\cdot 10^9$	$1,06\cdot 10^3$	$5,29\cdot 10^2$	$3,53\cdot 10^2$	$2,65\cdot 10^2$	$1,76\cdot 10^2$	$8,82\cdot 10^1$
$2,90\cdot 10^9$	$1,97\cdot 10^3$	$9,86\cdot 10^2$	$6,57\cdot 10^2$	$4,93\cdot 10^2$	$3,29\cdot 10^2$	$1,64\cdot 10^2$
$2,27\cdot 10^9$	$7,66\cdot 10^3$	$3,83\cdot 10^3$	$2,55\cdot 10^3$	$1,91\cdot 10^3$	$1,28\cdot 10^3$	$6,38\cdot 10^2$
$2,60\cdot 10^9$	$9,62\cdot 10^3$	$4,81\cdot 10^3$	$3,21\cdot 10^3$	$2,40\cdot 10^3$	$1,60\cdot 10^3$	$8,01\cdot 10^2$
$2,07\cdot 10^9$	$2,83\cdot 10^5$	$1,41\cdot 10^5$	$9,43\cdot 10^4$	$7,07\cdot 10^4$	$4,71\cdot 10^4$	$2,36\cdot 10^4$

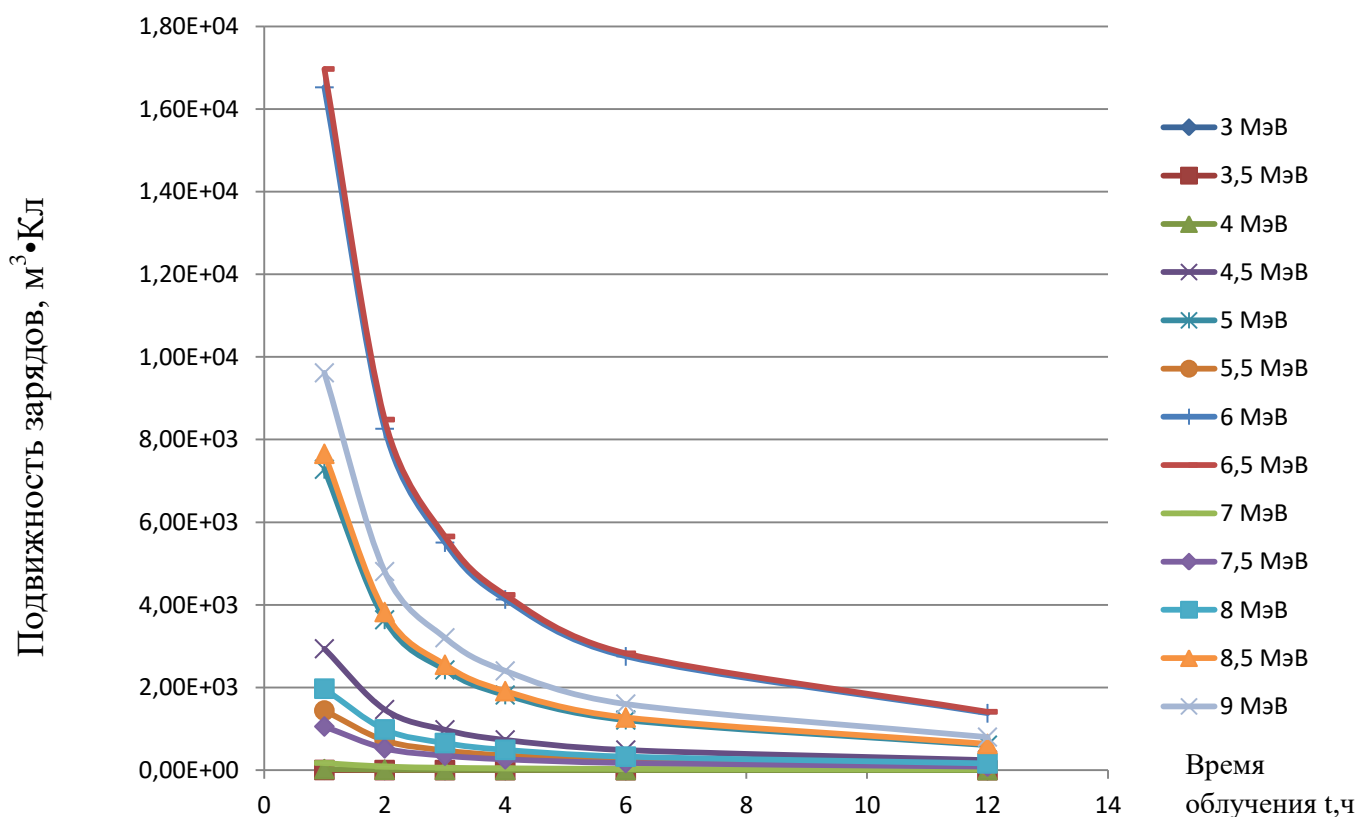


Рисунок 16 – Зависимость подвижности носителей заряда в кремнии от времени облучения в канале ВЭК-13 при различных энергиях нейтронов

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

3.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте приводится полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 10 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100%
		И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30%
		И – 100%

Продолжение таблицы 10

Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 100% ИП – 70%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 100% И – 80%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

3.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В

большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется формула:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6}, \quad (18)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 5.1 работ перечислены специалисты:

- исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{КД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (19)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (20)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (21)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 11 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_{\text{Д}} = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot K_{\text{Д}}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{\text{К}}$ (здесь оно равно 1,212). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления работ

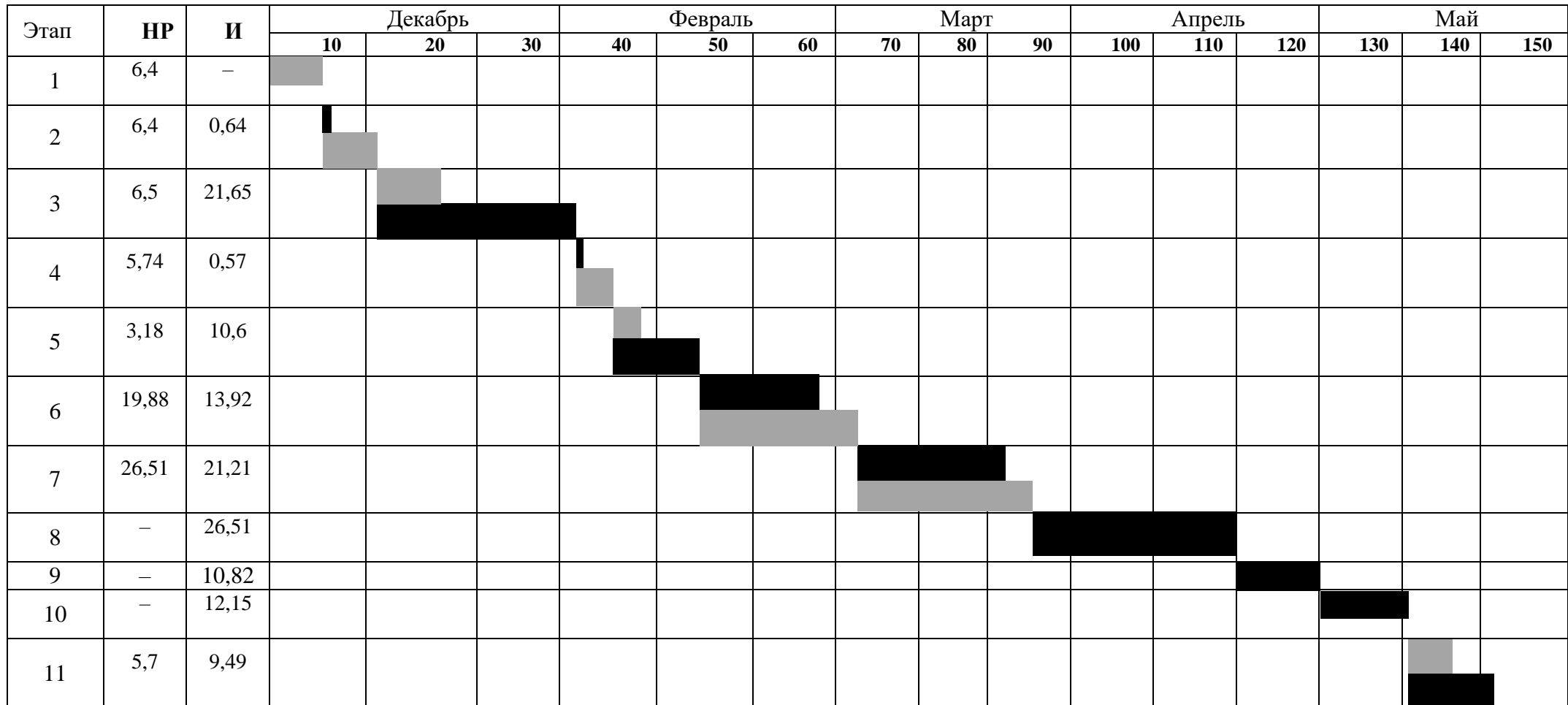
Таблица 11 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни				Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
						$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	t_{prob}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Постановка задачи	НР	2	7	5	4.8	5.32	–	6.4	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	7	5	4.8	5.32	0.53	6.4	0.64
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	14	20	16	16.3	5.38	17.96	6.495	21.65
Разработка календарного плана	НР, И	2	8	4	4.3	4.77	0.48	5.74	0.57
Обсуждение литературы	НР, И	4	12	8	8	2.64	8.8	3.18	10.604
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	10	20	15	15	16.5	11.55	19.88	13.92
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	15	25	20	20	22	17.6	26.51	21.21

Продолжение таблицы 11

Расчет принципиальной схемы устройства	И	15	25	20	20	–	22	–	26.51
Оформление расчетно- пояснительной записки	И	5	12	8	8.2	–	8.98	–	10.82
Оформление графического материала	И	5	13	9	9.1	–	10.08	–	12.15
Подведение итогов	НР, И	5	10	7	7.1	4.72	7.88	5.7	9.49
Итого:					117.6	66.5	106.58	80.305	127.564

Таблица 12 – Линейный график работ



НР – ■; И – ■

3.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

3.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение

сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Данные в таблице 17

Таблица 13– Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Фотобумага для принтера 170 гр 127*8*50,8	270	3 ролика	810
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	150
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Итого:			2510

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 2510 * 1,05 = 2635,5$ руб.

3.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Величины месячных окладов (МО) для сотрудников ТПУ можно получить на его портале (*Главная → Структура ТПУ → Управление первого проректора → Планово-финансовый отдел → Регламентирующие документы*) или из приложения 1. Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику. При отсутствии такового берется оклад инженера собственной кафедры (лаборатории).

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/25,083 \quad (22)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 13 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,09	67	1,699	152 763
И	7864,11	314,56	107	1,62	54 52
Итого:					207300

3.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{ЗП}} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 207300,7 * 0,3 = 62190,2$ руб.

3.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot \text{Ц}_{\text{Э}} \quad (23)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\text{Ц}_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{Ц}_{\text{Э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 12 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} * K_t, \quad (24)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_C \quad (25)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$. В таблице 14 указаны затраты на технологическую мощность.

Таблица 14 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{\text{об}}$, руб.
Персональный компьютер	853*0,8	0,3	1176
Принтер	10	0,1	6
Итого:			1182

3.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{N_A * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}, \quad (26)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} . Например, для ПК в 2015 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_D = 298 * 8 = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются. Стоимость ПК 45000 руб., время использования 853 часа, тогда для него $C_{AM}(ПК) = (0,4 * 45000 * 853 * 1) / 2384 = 6440,436$ руб. Стоимость принтера 6000 руб., его $F_D = 500$ час.; $N_A = 0,5$; $t_{рф} = 30$ час., тогда его $C_{AM}(Пр) = (0,5 * 12000 * 30 * 1) / 500 = 60$ руб. Итого начислено амортизации 6500 руб.

3.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Время пребывания в командировке составило 20 календарных дней (с учетом дней приезда и отъезда); оплата проживания в общежитии 50 руб./день*17 дней = 850 руб. (основные расходы за счет принимающей стороны); оплата проезда по ж.д. в обе стороны – 4720 руб.; аренда специальных приборов – 4200 руб.; почтовые расходы – 240 руб.; консалтинговые услуги – 1500 руб. Итого по данному пункту $C_{\text{нр}} = (20 - 1) \cdot 100 + 850 + 4720 + 4200 + 240 + 1500 = 12160$ руб.

3.2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

$$C_{\text{проч.}} = (2510 + 207300 + 62190 + 1182 + 6500 + 12160) \cdot 0,1 = 30400 \text{ руб.}$$

3.2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ».

Таблица 15 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	2510
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	207300
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	62190
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1182
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	6500
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	12160
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	30400
Итого:		334403

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 334\,403$ руб.

3.2.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Она составляет 66880 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

3.2.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(334403 + 66880) * 0,2 = 401284 * 0,2 = 80256$ руб.

3.2.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 334403 + 66880 + 80256 = 481540 \text{ руб.}$$

3.3 Оценка экономической эффективности проекта

В результате расчетов полноценно сказать об экономической эффективности проекта не представляется возможным в силу того, что исследование изначально предназначалось для проверки расчетов и совпадения данных, т.е. не являлось самостоятельной научной работой.

4 «Социальная ответственность»

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально–экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно–профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда

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.

Опасным производственным фактором, согласно определению охраны труда, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

При выполнении различных работ на производстве требуется проанализировать все опасные факторы, влияющие на сотрудника. Таким образом, удастся снизить риск получения заболеваний и травм к надлежащему

минимуму. В таблице 16 представлены основные элементы производственного процесса, при которых возможны какие-либо риски.

Таблица 16 – 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	
Поиск теоретических данных, расчет значений концентрации заряда, подвижности, спектров нейтронов на компьютере.	Электромагнитное излучение низкой частоты		СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы
	Отклонение показателей микроклимата, вибрации, шума		СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность
		Пожарная и взрывобезопасность	ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические .

На инженера, работа которого связана с моделированием на компьютере, воздействуют следующие факторы:

– физические(температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; освещённость; наличие излучения;)

– психофизиологические

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно–психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

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

4.2.1 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.

4.2.2 Технические мероприятия

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, находящегося на рис.1 .

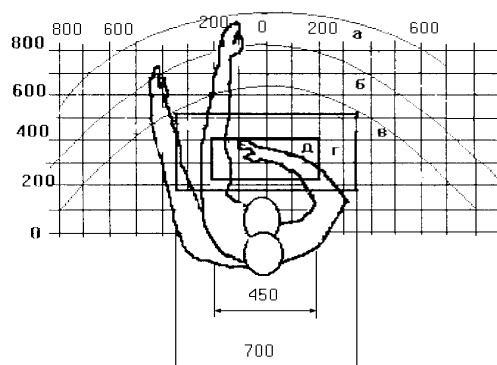


Рисунок 17 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- 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 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.

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.

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 приведены в таблице 2.

Таблица 17 – 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
Тёплый	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. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

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. Конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более $7,7 \cdot 10^{-4}$ А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.3 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ 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. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

В результате поражения электрическим током могут быть следующие эффекты:

- Тепловое (термическое) воздействие, проявляющееся в виде ожогов кожи, перегревов органов;
- Химическое воздействие, проявляющееся в виде изменения физико-химических составов жидкостей в организме человека

- Биологическое воздействие в виде разрушения тканей и клеток организма

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 (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

4.4 Пожарная и взрывная безопасность

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:

- 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.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- Сообщить руководству (дежурному).
- Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
- Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

В результате работы проведена оценка влияния быстрых нейтронов на концентрацию и подвижность неосновных носителей заряда в монокристаллическом кремнии при его использовании в качестве детектора. Были получены следующие результаты:

- получена теория о быстрых нейтронах и методах их детектирования
- рассчитаны спектры и потоки нейтронов в вертикальных экспериментальных каналах ВЭК-1, ВЭК-11 при установленном борном фильтре, ВЭК-4, ВЭК-5, ВЭК-13 при установленном кадмиевом фильтре
- измерена концентрация носителей заряда до облучения. Она равняется $5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$
- измерена подвижность зарядов в кремнии до облучения. Она равняется $0.00125 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$
- измерена подвижность зарядов в кремнии после облучения.

Быстрые нейтроны влияют на подвижность неосновных носителей зарядов в кремнии. До облучения при $T=300 \text{ К}$ подвижность зарядов в кремнии равна $0,00125 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. После облучения в течение нескольких часов подвижность падает, что видно на графиках. Соответственно, концентрация неосновных носителей заряда возрастает. Это подтверждается законами физики, ведь при увеличении концентрации зарядов зоны будут все больше заполняться электронами, тем самым будет уменьшаться их подвижность

Список использованных источников

- 1 Исследовательский реактор ИРТ-Т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/reactor/about> , свободный – Заглавие с экрана. – Язык русский. Дата обращения 28.04.2018 г.
- 2 Варлачев В.А, Емец Е.Г., Солодовников Е.С. Влияние быстрых нейтронов на проводимость простых полупроводников [Текст]//Радиационные эффекты в твердых телах. - 2011. - №9. - с.107-109.
- 3 Nuclear Data Services [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www-nds.iaea.org, свободный – Заглавие с экрана. – Язык английский. Дата обращения 20.03.2019 г.
- 4 Игнатов С.М., Потапов В.Н., Неретин С.М., Петров В.И., Орлов А.Д., Шмурак С.З., Классен Н.В. Детекторы нейтронного излучения на основе твердотельных кремниевых фотоумножителей [Текст]// Приборы и техника эксперимента. – 2009. - №4. – с.60-65
- 5 Чуляев С.В., Пепельшев Ю.Н. Временное разрешение вакуумной камеры деления [Текст]// Приборы и техника эксперимента. - 2003. - № 6. - с. 23-28.
- 6 Алексеев И.В. Применение кристаллов TlInSe_2 для детектирования жесткой радиации [Текст]// Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1992 - т.28. - №12. - с.240.
- 7 Емец Е.Г. Формирование нейтронного поля для проведения радиационных исследований полупроводниковых приборов [Текст]// Изотопы: технологии, материалы и применение. – 2017 – №1. – с.55
- 8 V.A. Varlachev, A.V. Golovatsky, E.G. Emets and Y.A. Butko Formation of the Irradiation Zone for Neutron Transmutation Doping Using the Pool-Type Research Reactor // Advanced Materials Research – 2015. – Т. 1084 – С. 309-312

9 Varlachev V. A. et al. Formation of neutron fields for radiation technologies //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2014. – Т. 552. – №. 1. – С. 12-49

10 Емец Е.Г. Использование ядерного легирования для получения высокоомного кремния [Текст]// Изотопы: технологии, материалы и применение: материалы IV Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов – 2016 – с.41

11 Головацкий А.В. Комплекс нейтронно-трансмутационного легирования слитков кремния на реакторе ИРТ-Т [Текст]// Изотопы: технологии, материалы и применение: материалы Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов – 2014 – с.99-100

12 Варлачев В.А Исследовательский реактор ИРТ-Т и его использование в фундаментальных и прикладных исследованиях [Текст]// Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Международной конференции – 2016 – с.143-147

13 Товстюк К.Д. Полупроводниковое материаловедение. – [Текст]: – К.,«Наукова думка», 1984. – с.213.

14 Мирешги, А .; Cho, G .; Drewery, JS; Hong, WS; Jing, T .; Lee, H .; Каплан С.Н. Перес-Мендес, В. Высокоэффективные нейтронно-чувствительные аморфные кремниевые пиксельные детекторы. – [Текст]: – Ядерная наука . IEEE, 1994. – с.41

15 Вологдин Э.Н, Лысенко А.П. Интегральные радиационные изменения параметров полупроводниковых материалов. – [Текст]: – М.,1998. – с.43

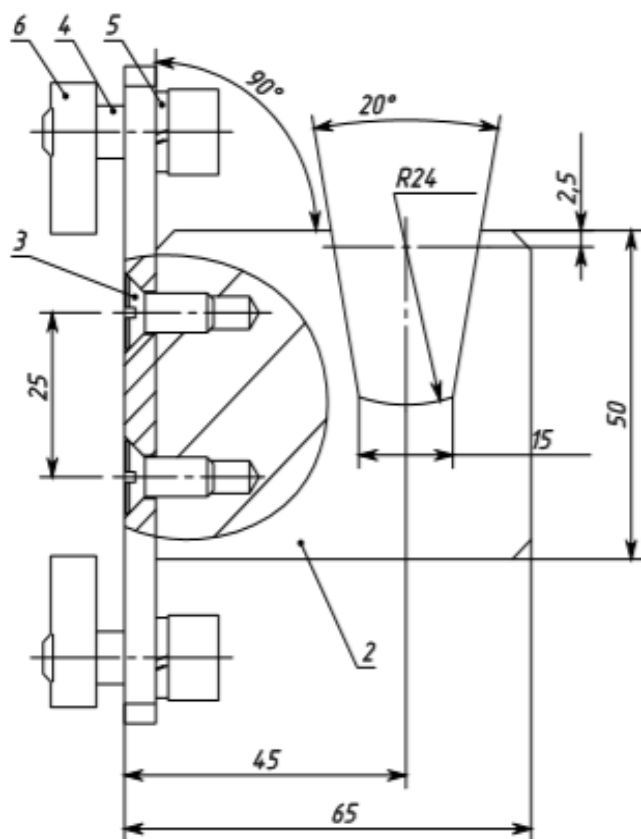
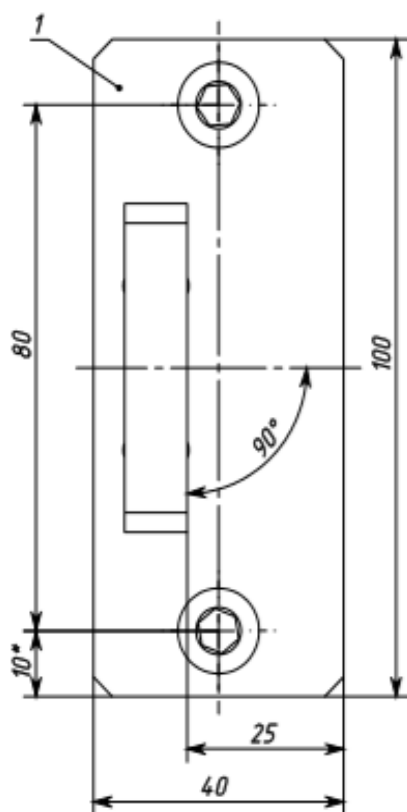
16 Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела. – [Текст]: – М.: Высшая школа, 2000. – с.400-460

17 Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников. – [Текст]: – М.: Металлургия, 1984. –с.250

18 Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. – [Текст]: – Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1972. —с.162

- 19 Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. – [Текст] – М.: Наука, 1972. – 670 с.
- 20 В. К. Ляпидевский. Полупроводниковые детекторы в дозиметрии ионизирующих излучений – [Текст] – М.: Атомиздат, 1973. — 179 с.
- 21 Кашкаров П.К., Тимошенко В.Ю. Образование дефектов в полупроводниках при импульсном лазерном отжиге [Текст]// Поверхность. Физика, химия, механика. - 1995. - № 6. - с.5-34.
- 22 Аллен В. Д., Регистрация нейтронов, – [Текст]: – М., 1962. – с.140
- 23 Власов Н. А., Нейтроны – [Текст]: – 2 изд., М., 1971. – с.120
- 24 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
- 25 Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность
- 26 ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации
- 27 СанПин 2.6.12523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ99/2009. Утвержден главным государственным санитарным врачом РФ от 07.007.2009 г. №47.
- 28 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность
- 29 ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во Стандартов, 2003. – 6 с.
- 30 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: методические указания к выполнению раздела / В. Ю. Конотопский. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 12 с.

ФЮРА 14.03.02.045



Лист №

Листов

Подпись и дата

Имя, № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Имя, № листа

Формат	Зона	Позиция	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		1	ФЮРА 14.03.02.045.01	Скоба	1	
		2	ФЮРА 14.03.02.045.02	Пластина	1	
		3	ФЮРА 14.03.02.045.03	Винт М 6 x 14 ГОСТ 17475-80	2	
		4	ФЮРА 14.03.02.045.04	Винт М 8 x 20 ГОСТ 11738-84	2	
		5	ФЮРА 14.03.02.045.01	Шайба 8 ГОСТ 6402-70	2	
		6	ФЮРА 14.03.02.045.06	Закладная гайка	2	

ФЮРА 14.03.02.045 Сп

Имя	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Казаков А.А.		20.05.19
Проб.		Емец Е.Г.		20.05.19
				20.05.19
Исполн.		Емец Е.Г.		20.05.19
Удв.		Бычков П.Н.		20.05.19

Приложение А
(Обязательное)
Опора

Лит.	Масса	Масштаб
у		1:1
Лист 1		Листов 1

ТПУ ИЯТШ
Группа ОАСГ

Формат А4

