

Инженерная Школа Ядерных Технологий
 Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
 Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки АСТРА-М

УДК 539.16.04:539.1.074

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Момзикова Виктория Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Веригин Дан Александрович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Код результата	Результат обучения (компетенции)
Общекультурные 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.

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

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

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная Школа Ядерных Технологий
 Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
 Отделение ядерно-топливного цикла

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А6А	Момзиковой Виктории Андреевне

Тема работы:

Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки АСТРА-М	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020, 59-91/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Техническая документация для импульсного сильноточного электронного ускорителя «АСТР-М», дозиметра рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123, результаты при проведении НИР
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников с целью выявления особенностей дозиметрии полей импульсного ионизирующего излучения и приборов, пригодных для использования в поле импульсного излучения 2. Создание модели установки «АСТРА-М» 3. Проведение дозиметрического контроля установки «АСТРА-М» 5. Анализ полученных данных 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в Microsoft PowerPoint</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кашук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Гоголева Татьяна Сергеевна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Веригин Дан Александрович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Момзикова Виктория Андреевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО		
0А6А	Момзикова Виктория Андреевна		
Школа	ИЯТШ	Отделение Школа	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	15.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Момзикова Виктория Андреевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6А	Момзикова Виктория Андреевна

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	15.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Тема ВКР:

Исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки АСТРА-М	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются дозовые характеристики полей импульсного ионизирующего излучения установки АСТРА-М. Импульсные установки применяются в медицине, промышленности и в области обеспечения безопасности
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс РФ; – СанПиН 2.2.5.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; – СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; – СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009; – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; – СанПиН 2.6.1.2573-10 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ; – СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы; – ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда(ССБТ). Электробезопасность.

	Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – параметры микроклимата; – электромагнитные поля; – повышенный уровень ионизирующих излучений; – недостаток естественного и искусственного освещения; – шум; – вредные вещества; – нервно-психические перегрузки; – электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	– загрязнение почвы электронными отходами; – утилизация комплектующих ПЭВМ;
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание возможных чрезвычайных ситуаций; – анализ наиболее вероятной ЧС при выполнении исследования - возгорание и возникновение пожара на рабочем месте; – превентивные меры и порядок действий во время ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.– м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6А	Момзикова Виктория Андреевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерного топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.20	Составление и утверждение технического задания	10
05.03.20	Подбор и изучение материалов по теме	15
16.03.20	Проведение моделирования	20
15.04.20	Проведение дозиметрического контроля	20
07.05.20	Анализ и описание результатов	20
20.05.20	Подготовка к защите ВКР	15

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Веригин Дан Александрович	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 12 рис., 35 табл., 29 источников, 2 прил.

Ключевые слова: тормозное излучение, ионизирующее излучение, импульсный электронный ускоритель, дозиметрия, дозиметрический контроль.

Объектом исследования являются дозовые характеристики поля импульсного излучения.

Цель работы – исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения, генерируемого установкой «АСТРА-М».

В процессе исследования проводились литературный обзор по методам и приборам измерения дозовых полей импульсного ионизирующего излучения, создание модели установки «АСТРА-М» в программе «Компьютерная лаборатория», инженерный расчет дозиметрических характеристик поля при помощи универсальных таблиц, дозиметрический контроль установки «АСТРА-М».

В результате исследования исследованы дозовые поля импульсного ионизирующего излучения, генерируемого установкой «АСТРА-М». Выявлены особенности дозиметрии полей импульсного излучения. Проведен дозиметрический контроль установки «АСТРА-М», в ходе проведения которого не было выявлено превышений основных пределов доз, установленных в НРБ-99/2009. В программе «Компьютерная лаборатория» создана модель установки «АСТРА-М» и рассчитана доза первичного излучения. В совокупности с инженерными методами расчета моделирование использовано для расчета дозиметрических характеристик поля в зоне, где проводился дозиметрический контроль. Экспериментальные и теоретические данные хорошо согласуются, расхождение обусловлено погрешностью прибора, а также неточностью данных о физических характеристиках защиты.

Область применения: решение задач, связанных с дозиметрическим контролем полей импульсного ионизирующего излучения.

Определения, обозначения, сокращения

Ионизирующее излучение – это поток элементарных частиц, квантов или волн электромагнитной энергии, вызывающий прямо или косвенно образование электрических зарядов при взаимодействии с веществом.

Тормозное излучение – это коротковолновое электромагнитное (фотонное) излучение с непрерывным энергетическим спектром.

Поглощенная доза – это локальная (точечная) характеристика, равная отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементе объема, к массе вещества в этом объеме.

Эквивалентная доза – это произведение поглощенной дозы в биологической ткани или органе на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.

Эффективная доза – это защитная величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности; величина, равная сумме произведений эквивалентных доз облучения в отдельных органах и тканях человека на соответствующие коэффициенты для биологических тканей и органов.

Взрывная электронная эмиссия – возникновение электронного тока из металлического эмиттера вследствие перехода материала эмиттера из конденсированной фазы в плотную плазму в результате разогрева локальных микроскопических областей эмиттера током автоэлектронной эмиссии.

Содержание

Введение.....	16
1 Операционные дозиметрические величины.....	19
2 Методы регистрации ионизирующих излучений.....	21
2.1 Газонаполненные детекторы.....	21
2.2 Сцинтилляционные детекторы.....	23
2.3 Полупроводниковые детекторы.....	25
2.4 Приборы для дозиметрии импульсного излучения.....	25
3 Материалы и оборудование.....	28
3.1 Импульсный ускоритель электронов «АСТРА-М».....	28
3.2 Дозиметр ДКС-АТ1123.....	30
3.2.1 Назначение и принцип действия.....	30
3.2.2 Технические характеристики ДКС-АТ1123.....	32
3.3 Компьютерная лаборатория.....	32
3.3.1 Основные режимы работы программы.....	33
4 Экспериментальная часть.....	35
4.1 Дозиметрический контроль установки «АСТРА-М».....	35
4.2 Расчет дозовых характеристик поля при помощи универсальных таблиц и моделирования.....	39
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	43
Введение.....	43
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	44
5.1.2 SWOT-анализ.....	45

5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	49
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	50
5.2.3 Бюджет научно-технического исследования	53
5.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	53
5.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	54
5.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей	55
5.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	57
5.2.3.5 Накладные расходы.....	57
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	58
Выводы по разделу.....	60
6 Социальная ответственность	62
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
6.2 Производственная безопасность.....	63
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	64
6.2.1.1 Отклонение параметров микроклимата воздушной среды.....	64
6.2.1.2 Повышенный уровень электромагнитных полей	66
6.2.1.3 Повышенный уровень ионизирующих излучений	67
6.2.1.4 Недостаток естественного и искусственного освещения	68
6.2.1.5 Вредные вещества	68
6.2.1.6 Шум	69
6.2.1.7 Нервно-психические перегрузки	70
6.2.1.8 Поражение электрическим током.....	71

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	72
6.3 Экологическая безопасность.....	74
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	74
6.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	75
Заключение	76
Список использованных источников	77
Приложение А	80
Приложение Б	82

Введение

Ионизирующее излучение представляет собой поток частиц, способных ионизировать среду. На сегодняшний день сложно найти сферу человеческой деятельности, в которую не были бы внедрены источники ионизирующего излучения. Они используются повсеместно, начиная с промышленности и заканчивая медициной.

Реакторы, используемые на АЭС, обеспечивают теплом и электроэнергией целые города, а реакторы на кораблях делают возможным плавание в течение нескольких месяцев без захода в порт. В промышленности ионизирующее излучение применяется в дефектоскопии, для получения новых материалов и модификации свойств уже существующих, а атомные батареи позволяют обеспечить людей энергией в местах, где невозможно получить энергию другим способом, либо это тяжело осуществимо.

Источники ионизирующего излучения используются даже в сельском хозяйстве для создания новых сортов сельскохозяйственных культур, таким путем было создано уже более 2000 новых сортов. В медицине же ионизирующее излучение положило начало ядерной медицине и лучевой терапии.

Существующие на сегодняшний день установки могут генерировать как непрерывное ионизирующее излучение, так и импульсное. Под импульсным излучением будем понимать излучение, характеристики поля которого остаются неизменными в течении промежутка времени, много меньшего времени наблюдения.

В последние годы значительно расширилось использование именно импульсного излучения в медицине, промышленности и в обеспечении безопасности. Импульсное излучение от различных источников получают двумя способами: механическим и электрическим. Эти источники характеризуются различными длительностями импульса, энергией частиц и значениями дозы в импульсе. Генераторы, основанные на электрическом методе, характеризуются чрезвычайно короткими импульсами, длительность которых может измеряться

наносекундами. Такой установкой является разработанный в Томском политехническом университете частотный импульсный ускоритель электронов «АСТРА-М», который будет рассмотрен в этой работе в дальнейшем.

Внедрение источников импульсного излучения вызвало появление ряда проблем, связанных с радиационным контролем, в частности, с измерением доз и мощностей доз импульсного излучения. Мощность дозы в единицах зиверт в час не может служить характеристикой радиационной обстановки, если длительность импульса, созданного импульсным источником, составляет порядка нескольких десятков наносекунд. При длительности импульсов порядка нескольких микросекунд с частотой следования двести импульсов в секунду средние значения мощности дозы будут отличаться от значения мощности дозы в импульсе вплоть до 5000 раз.

Таким образом, мощность дозы, являясь производной величиной от дозы облучения, служит операционной величиной при дозиметрии внешнего облучения только для непрерывных излучений. Для импульсных полей характеристикой является доза облучения.

Целью работы является исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения, генерируемого установкой «АСТРА-М».

Для выполнения поставленной цели необходимо реализовать следующие задачи:

- провести литературный обзор по методам и приборам измерения дозовых полей импульсного ионизирующего излучения;
- изучить принцип действия и основные параметры импульсного электронного ускорителя «АСТРА-М»;
- провести дозиметрический контроль установки «АСТРА-М».
- проведение компьютерного моделирование дозовых полей установки «АСТРА-М» в совокупности с инженерными расчетами.

Объектом исследования являются дозовые характеристики поля импульсного излучения.

Предметом исследования является импульсный электронный ускоритель.
Источник тормозного рентгеновского излучения.

1 Операционные дозиметрические величины

Для консервативной оценки нормируемых величин МКРЕ были ведены операционные величины, которые связаны с облучением или возможным внешним облучением людей. Операционные величины, являющиеся в дозиметрии эквивалентом эффективной дозы, определяются так, чтобы дозиметрические приборы смогли учесть искажение телом человека поля излучения.

Для дозиметрии внутреннего облучения человека операционных величин не существует.

Дозиметрический контроль проводится в различных условиях. На рабочих местах радиационный контроль проводится в свободном воздушном пространстве, при индивидуальном дозиметрическом контроле дозиметр находится на теле человека, которое меняет радиационное поле в силу взаимодействия ионизирующего излучения с биологическими тканями. Соответственно, для внешнего дозиметрического контроля применяются различные операционные величины.

При пространственном дозиметрическом контроле для всех видов излучений базовой операционной величиной определена величина эквивалентной дозы в определенной точке простого сферического фантома МКРЕ. Согласно [1] для внешнего облучения при радиационном контроле на рабочих местах операционной величиной является амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$ (амбиентная доза) – это эквивалент дозы, который был бы создан в шаровом фантоме МКРЕ на глубине d (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения (рис. 1.1), идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленном и однородном.

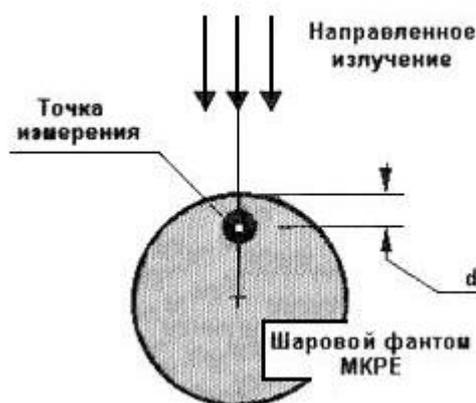


Рисунок 1.1 – Схема определения AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ

Определяет соотношение операционной и нормируемой величин параметр d :

- эффективной дозе внешнего облучения соответствует AMBIENTНАЯ ДОЗА при $d = 10$ мм;
- эффективной дозе внешнего облучения кожи соответствует AMBIENTНАЯ ДОЗА при $d = 0,07$ мм;
- эффективной дозе внешнего облучения хрусталика глаза соответствует AMBIENTНАЯ ДОЗА при $d = 3$ мм.

Операционная величина $H^*(10)$ является рекомендованной МКРЗ для сильно проникающих излучений: нейтронов любых энергий, фотонов с энергиями более 12 кэВ и электронов с энергиями более 2 МэВ.

Единицей СИ для AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ является зиверт (Зв), а рекомендуемой единицей мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ– мкЗв/ч. Дозиметрическое оборудование откалибровано в единицах измерения операционных величин.

2 Методы регистрации ионизирующих излучений

Для регистрации в широком диапазоне энергий различных видов излучений (α - и β -частиц, рентгеновского и γ -излучений, нейтронов и др.) используются такие детекторы, как ионизационная камера, пропорциональный счетчик, счетчик Гейгера-Мюллера, сцинтилляционный детектор, полупроводниковый детектор и т.д.

Тип частицы, а также ее кинетические характеристики (импульс, энергия и т.д.) и скорость генерации частиц, являются основными параметрами, определяемыми детекторами.

Все приборы для регистрации ионизирующих излучений работают либо в импульсном (счетном), либо в интегральном (токовом) режимах. В импульсном режиме выводятся разделенные во времени сигналы, причем каждый сигнал соответствует прохождению отдельной частицы через рабочее вещество детектора, а энергию излучения определяют по амплитуде выходного сигнала. В токовом режиме же регистрируется некоторый усредненный эффект от попадания в объем детектора большого числа частиц.

Важнейшими характеристиками детекторов ионизирующих излучений являются эффективность регистрации (вероятность регистрации частицы при попадании ее в рабочее вещество детектора), временное разрешение (минимальное время, за которое детектор регистрирует две последовательные частицы как отдельные) и мертвое время (время, в течение которого после регистрации частицы детектор либо не способен к регистрации следующей частицы, либо сильно ухудшает свои характеристики) [2].

2.1 Газонаполненные детекторы

Газонаполненные детекторы делятся на газоразрядные счетчики и ионизационные камеры. В общем случае они представляют собой катод в виде цилиндрического корпуса и соосно расположенный в нем анод – электрод,

пространство между электродами заполнено газом, находящимся под некоторым давлением (рис. 2.1).

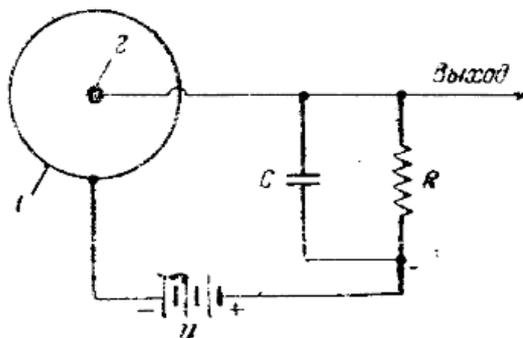


Рисунок 2.1 – Схема включения газонаполненного детектора: 1 – катод, 2 – анод

Принцип действия всех газонаполненных детекторов основан на явлении ионизации рабочей среды детектора ядерным излучением. Попадая в объем детектора либо непосредственно за счет потерь энергии (заряженные частицы), либо через вторичные взаимодействия (γ -излучение и нейтральные частицы), излучение приводит к появлению некоторого количества пар ионов в рабочем веществе детектора. За счет приложенной разности потенциалов к электродам детектора положительно и отрицательно заряженные ионы начинают двигаться в соответствии с направлением электрического поля, создавая тем самым ионизационный ток. По достижении группы ионов электрода происходит изменение его потенциала, что эквивалентно появлению импульса напряжения на выходе схемы. Это можно зарегистрировать радиометрическим устройством и тем самым зафиксировать попадание ионизирующего излучения в объем детектора.

В докладе МКРЕ говорится о непригодности использования детекторов, работающих в счетном режиме, для измерения импульсного излучения ввиду наличия мертвого времени детектора, которое больше или сравнимо с длительностью импульса излучения. Такие детекторы могут лишь

регистрировать частоту импульсов излучения, причем максимальная скорость счета будет около 400 имп/с даже при очень высокой мощности дозы [3].

Единственным ограничением для ионизационных камер может служить неполное собирание ионов на электродах. В Приложении А к стандарту МЭК 60532 приведен метод определения коэффициента собирания ионов в приборе с ионизационной камерой: сначала необходимо увеличить приложенное напряжение в 1,5 раза и наблюдать за показаниями прибора – при полном собирании заряда они увеличиваются не более, чем на 5% [4].

2.2 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный метод основан на регистрации коротких вспышек света – сцинтилляций, которые возникают в ряде веществ при прохождении через них заряженных частиц.

Фотоны, возникшие в результате прохождения заряженной частицы через сцинтиллятор, достигают по световоду фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и попадают на фотокатод через стеклянную стенку (рис. 2.2). ФЭУ – это баллон, в котором имеются система динодов и фотокатод, находящихся по увеличивающимся, положительным, возрастающим от динода к диноду напряжением. Из фотокатода в процессе фотоэффекта вылетают электроны, ускоряются в электрическом поле и движутся к системе динодов, где в результате ударной (вторичной) эмиссии возникает электронная лавина, возрастающая от динода к диноду и поступающая затем на анод. В среднем число электронов, которые достигают анода при выходе одного электрона с фотокатода (коэффициент усиления ФЭУ) достигает значений 10^5 - 10^6 , однако он может оказываться равным 10^9 , и за счет этого становится возможным получить на выходе фотоэлектронного умножителя легко регистрируемый электрический импульс [5].

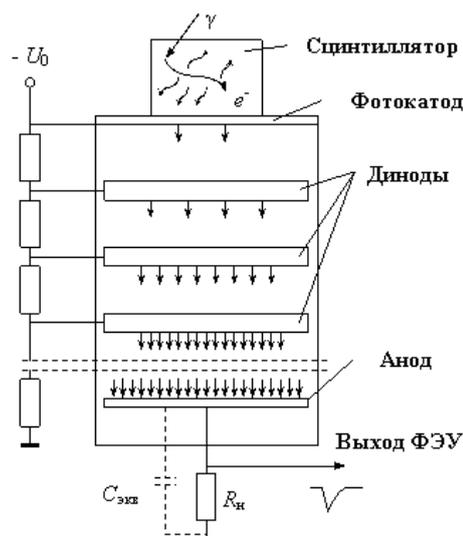


Рисунок 2.2 – Схема включения сцинтилляционного детектора

В токовом режиме (при сильной засветке ФЭУ) измеряется просто количество электричества, которое было передано от систем динодов на анод, т.е. система интегрирует все поступающие импульсы, в том числе и шумы. В импульсном режиме наблюдается набор импульсов различной амплитуды.

Касаемо дозиметрии импульсных полей, как говорилось ранее для газонаполненных детекторов, аналогично сцинтилляционные детекторы можно использовать только в токовом режиме работы. Если используется тканیهквивалентный сцинтиллятор, то это весьма удобно в силу того, что испускаемое сцинтиллятором количество γ -квантов пропорционально дозе, поглощенной в биологической ткани.

Ограничения же в применении сцинтилляционных детекторов связаны с нелинейностью ФЭУ при передаче больших токов [6]. Нелинейность присуща обоим режимам работы: как токовому, так и счетный. В первом случае электрическое поле между динодами искажается тем, что при высокой освещенности между последними динодами находится очень большое количество электронов, электрическое поле которых препятствует ускорению последующих электронов. Нелинейность в счетном режиме вызвана тем, что продолжительность импульса в любом ФЭУ конечна, а поток квантов света носит случайный характер. Может произойти слияние двух последовательных

импульсов из-за большого потока света, что приведет к уменьшению числа считанных импульсов. Соответственно нелинейность ограничивает применение сцинтилляционных детекторов при регистрации коротких и мощных импульсов.

2.3 Полупроводниковые детекторы

Работа полупроводникового детектора схожа с работой ионизационной камеры, однако ионизация в полупроводниковом детекторе происходит в толще кристалла, а не в газовом промежутке.

Полупроводниковый детектор – это полупроводниковый диод, запирающее напряжение на котором составляет порядка 10^2 В. Вблизи границы р–n-перехода слой полупроводника с объемным зарядом обладает высоким сопротивлением и, так сказать, обеднен носителями заряда. Сбор всех образованных частицей зарядов происходит путем подачи на кристалл напряжения в несколько кВ.

Проникая в детектор, заряженная частица создает неравновесные электронно-дырочные пары, перемещающиеся к электродам под действием электрического поля. Во внешней цепи в результате этого создается электрический импульс, который усиливается и регистрируется.

Поскольку полупроводниковые детекторы по принципу действия подобны ионизационным камерам, то они могут использоваться для дозиметрии импульсных излучений, но с определенными ограничениями. Основным ограничением является то, что рабочее вещество полупроводникового детектора неэквивалентно биологической ткани, поэтому будет нарушена пропорциональность тока и поглощенной дозы в биологической ткани [7].

2.4 Приборы для дозиметрии импульсного излучения

Согласно проведённому литературному обзору на международном рынке представлены следующие дозиметры, подходящие для дозиметрии импульсного излучения – Ram Ion и Rad Ion RI-02 производства компании Rotem Industries

Ltd, Piranha и Cobra производства компании RTI, RaySafe Xi и RaySafe X2 производства компании RaySafe.

Дозиметры Ram Ion и Rad Ion RI-02 были протестированы на импульсных полях трех различных источников рентгеновского излучения. Несмотря на то, что производитель не заявляет о пригодности использования Rad Ion RI-02 в импульсных полях, согласно проанализированной литературе результаты обоих дозиметров совпали в пределах 10% с показаниями эталона. Также хорошо согласовались расчетное среднее значение дозы в импульсе и данные производителей (с учетом расстояния) [4].

В литературе с открытым доступом не имеется никаких данных о тестировании следующих дозиметров Piranha, Cobia и RaySafe Xi на реальных пучках. Производители заявляют, что дозиметры Piranha и RaySafe Xi пригодны для дозиметрии импульсных полей. Для Cobia в паспорте прибора ничего не сказано о его возможности работы в импульсном поле, однако, ссылаясь на проанализированную литературу [7], можно сделать вывод, что он также подходит для контроля за импульсными источниками. Все вышеперечисленные дозиметрами являются полупроводниковыми детекторами, а поскольку полупроводниковые детекторы по принципу действия подобны ионизационным камерам, то они могут использоваться для дозиметрии импульсных излучений, но с определенными ограничениями. Основным ограничением является существенная нетканенэквивалентность, из-за чего их ток не будет пропорционален поглощенной дозе в мягкой биологической ткани.

Сравнительная характеристика всех представленных дозиметров представлена в таблице 2.1 [8-12].

Таблица 2.1 – Сравнительная характеристика дозиметров

Параметр	Ram Ion	Rad Ion RI-02	Piranha	Cobia	RaySafe Xi
Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы, мкЗв/ч	$1-5 \cdot 10^5$	$1-10^6$	–	–	–
Диапазон измерений амбиентного эквивалента дозы, мкЗв	$10-10^7$	≥ 10	–	–	–
Диапазон измерений мощности кермы в воздухе, мкГр/с	–	–	$1,5 \cdot 10^{-3}-4,5 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^4-3,6 \cdot 10^8$	$10^{-3}-10^3$
Диапазон измерений кермы в воздухе, мкГр	–	–	$0,7-10^9$	$0,4-10^9$	$0,1-10^9$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 15\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
Энергетическая зависимость дозиметра для гамма-излучения относительно энергии 0,662 МэВ (^{137}Cs)	не более $\pm 20\%$	не более $\pm 10\%$	не более $\pm 7\%$	не более $\pm 10\%$	не более $\pm 5\%$
Диапазон измерений мощности кермы в воздухе за импульс, мкГр/имп	–	–	$2 \cdot 10^{-3}-6 \cdot 10^{10}$	–	$10^{-3}-10^3$
Диапазон измерений кермы в воздухе за импульс, мкГр/с	–	–	$1 \cdot 10^1-4,5 \cdot 10^5$	–	$0,1-10^9$
Длительность импульса, с	$>10^{-9}$		$4 \cdot 10^{-3}-2 \cdot 10^3$	–	$10^{-3}-10^3$
Частота импульсов, с ⁻¹	>10		$0,5-180$	–	–

3 Материалы и оборудование

3.1 Импульсный ускоритель электронов «АСТРА-М»

Для генерации импульсного излучения использовался частотный импульсный ускоритель электронов «АСТРА-М», внешний вид которой представлен на рис. 3.1, а основные характеристики – в таблице 3.1.



Рисунок 3.1 – Внешний вид импульсного ускорителя электронов «АСТРА-М»

Таблица 3.1 – Основные характеристики установки «АСТРА-М»

Параметр установки	
Энергия электронов, кэВ	470
Ток пучка, кА	0,8
Длительность импульса, нс	250
Частота повторения импульсов, Гц	40

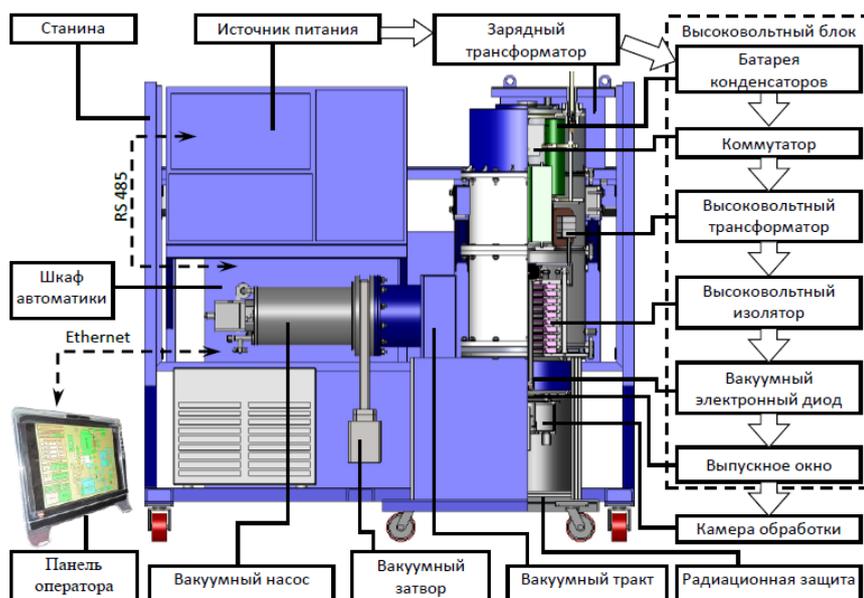


Рисунок 3.2 – Компоновочная схема ускорителя для радиационных технологий «АСТРА-М». Стрелками показаны направления передачи энергии между функциональными элементами ускорителя

Установка «АСТРА-М» относится к классу линейных ускорителей. Металлокерамический катод – это пластина из оксидной нанокерамики, в объеме которой расположены также металлические частицы, местами выходящие на поверхность. В микрообъемах между металлом и керамикой (диэлектриком) возникает плазма в результате развития в них газового разряда. Образующаяся плазма создает требуемую эмиссию электронов, ускоряющихся в промежутке катод-анод электрическим полем. В конце электроны попадают на металлическую фольгу, которая выполняет функции анода и разделительной мембраны (рис.3.3).

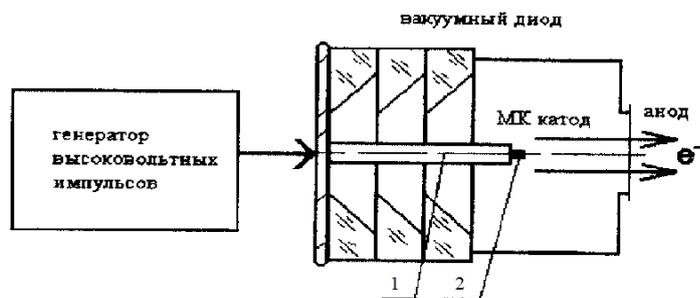


Рисунок 3.3 – Упрощенная схема укорителя «АСТРА-М»:

1 – катододержатель; 2 – металлокерамический катод

Выведение пучка установки «АСТРА-М» позволяет использовать ее для непрерывной обработки газов, жидкостей, а также поверхностей твердых тел. Одним из таких способов применения является использование импульсного ускорителя для обеззараживания водных растворов [13].

3.2 Дозиметр ДКС-АТ1123

3.2.1 Назначение и принцип действия

Измерения характеристик импульсных полей использовался дозиметр ДКС-АТ1123, внешний вид которого представлен на рис. 3.4.

Портативный широкодиапазонный многофункциональный прибор предназначен для:

- контроля радиационной обстановки при эксплуатации ядерноэнергетических, радиоизотопных и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия в научных исследованиях, медицине, промышленности и других областях;

- контроля состояния средств защиты гамма- и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия службами санитарного и проматомнадзора;

- обнаружения, локализации и дозиметрии источников рентгеновского и гамма-излучения службами контроля за перемещением ядерных и радиоактивных материалов;
- радиационного мониторинга окружающей среды, территорий и объектов;
- применения в условиях чрезвычайных и аварийных ситуаций.

При помощи данного дозиметра измеряются: мощность амбиентного эквивалента дозы как для непрерывного рентгеновского и гамма-излучений, так и кратковременно действующего излучения, а также средняя мощность амбиентного эквивалента дозы импульсного излучения и амбиентный эквивалент дозы гамма-излучения [14].

Кроме того, дозиметры имеют режим работы, позволяющий проводить поиск радиоактивных источников и локальных загрязнений.



Рисунок 3.4 – Дозиметр ДКС-АТ1123

Принцип работы дозиметра основан на сцинтилляционном методе, при этом используется пластмассовый сцинтиллятор. Для уменьшения влияния шумов в ФЭУ ток в сцинтилляторе регистрируется только в момент непосредственного попадания гамма-кванта в рабочий объем детектора. В режиме непрерывного измерения тока можно пренебречь влиянием темновых токов.

3.2.2 Технические характеристики ДКС-АТ1123

Технические характеристики дозиметра ДКС-АТ1123 приведены в таблице 3.2 [14].

Таблица 3.2 Технические характеристики дозиметра ДКС-АТ1123

Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы – непрерывного излучения длительного действия – непрерывного излучения кратковременного действия – импульсного излучения	50 нЗв/ч – 10 Зв/ч 5 мкЗв/ч – 10 Зв/ч 0,1 мкЗв/ч – 10 Зв/ч
Диапазон измерений амбиентного эквивалента дозы	10 нЗв – 10 Зв
Диапазон энергий – непрерывного излучения длительного и кратковременного действия – импульсного излучения	10 кэВ – 3 МэВ 15 кэВ – 10 МэВ
Энергетическая зависимость относительно энергии 662 кэВ (^{137}Cs) 15 кэВ – 60 кэВ 60 кэВ – 3 МэВ 3 МэВ – 10 МэВ	$\pm 35\%$ $\pm 25\%$ $\pm 50\%$
Минимальная длительность импульсного излучения при мощности доз в импульсе до 1,3 Зв/с	10 нс
Минимальная длительность непрерывного излучения кратковременного действия	30 мс
Пределы основной относительной погрешности – непрерывного излучения длительного и кратковременного действия – импульсного излучения	$\pm 15\%$ $\pm 30\%$
Чувствительность к гамма-излучению источника ^{137}Cs	$70 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}/\text{мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$
Время измерения мощности дозы гамма-излучения ^{137}Cs со статистической погрешностью $\pm 20\%$ – при мощности дозы: 50 – 300 нЗв/ч – при мощности дозы: 0,3 – 2 мкЗв/ч – при мощности дозы: 2 мкЗв/ч – 10 Зв/ч	не более 60 с не более 10 с не более 2 с
Время отклика при измерении мощности дозы от 0,1 до 1 мкЗв/ч	менее 2 с
Диапазон рабочих температур	от -30°C до $+50^\circ\text{C}$

3.3 Компьютерная лаборатория

Программа «Компьютерная лаборатория» (КЛ / PCLab) предназначена для моделирования методом Монте-Карло процессов распространения электронов, позитронов, фотонов и протонов в веществе, визуализации этих

процессов распространения на экране дисплея и получения численных результатов взаимодействия (например, альbedo, коэффициентов пропускания частиц, энергетических и угловых распределений частиц, распределений поглощенной энергии в веществе, дозы за защитой и т. д.) [15].

КЛ позволяет проводить моделирование для различных характеристик источника, поглотителя и детектора. Основные задачи, которые при этом можно решить с помощью КЛ, следующие:

- показать наглядно физические процессы, которые происходят при попадании ионизирующего излучения в вещество;
- дополнить реальный физический эксперимент более разнообразными начальными данными источника, поглотителя и детектора, чтобы в результате исследований получить не просто число, а физическую закономерность;
- предоставить возможность проведения численных экспериментов для ряда задач, когда реальный физический эксперимент невозможен из-за отсутствия необходимого лабораторного оборудования.

3.3.1 Основные режимы работы программы

РАСЧЕТ КОНСТАНТ (CONST)

Расчет сечений взаимодействия и функций распределения, необходимых для моделирования траекторий электронов, позитронов, фотонов, протонов и мюонов методом Монте-Карло. Расчет констант возможен для простых и сложных веществ в диапазоне энергий: $10^{-2} - 10^6$ МэВ – для электронов и позитронов, $10^{-2} - 10^3$ МэВ – для протонов, $10^{-3} - 10^6$ МэВ – для фотонов, $1 - 10^6$ МэВ – для мюонов. Кроме бинарного файла результатов, который может быть использован в самой программе КЛ, результаты расчета в виде таблиц с размерностями помещаются в текстовый файл. Режим CONST позволяет быстро рассчитать сечения взаимодействия для всех элементов с $Z=1-100$ и любых сложных веществ, вместо того, чтобы искать их в справочниках [15].

БАРЬЕР (BARRIER)

Программа КЛ выполняет расчеты методом Монте-Карло интегральных и дифференциальных характеристик электронов, позитронов, фотонов, протонов в однородной и гетерогенной барьерной геометрии. Возможен учет внешнего электрического и магнитного поля. Расчеты можно проводить для любых простых и сложных веществ, а необходимые для расчета сечения и распределения готовятся в режиме CONST [15].

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (BREMSSTRAHLUNG)

Расчет методом Монте-Карло интегральных характеристик и спектрально-угловых распределений тормозного излучения электронов и позитронов из плоских мишеней в барьерной геометрии. Возможен расчет с учетом внешнего электрического и магнитного поля [15].

4 Экспериментальная часть

На рисунке 4.1 представлен план помещения первого этажа, для которого проводились моделирование и дозиметрический контроль.

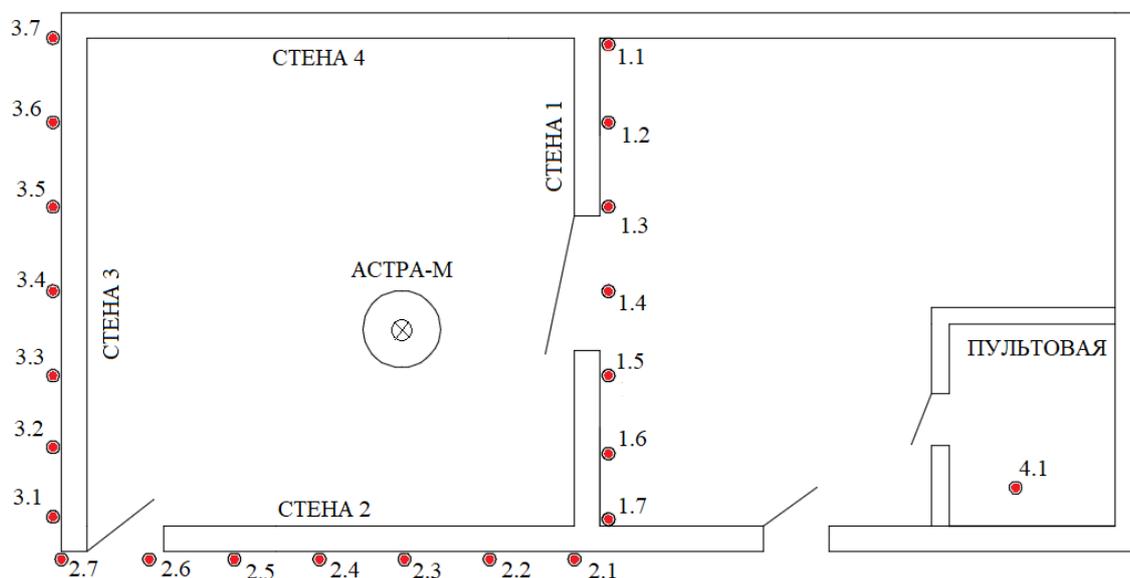


Рисунок 4.1 – План первого этажа, излучение установки направлено в пол

Необходимость моделирования распределения дозы внутри помещения, в котором располагается установка «АСТРА-М», обусловлено тем, что сильное электромагнитное поле, создаваемое импульсным ускорителем, делает невозможным проведение дозиметрического контроля внутри этого помещения. Сильное электромагнитное поле оказывает значительное влияние на показания дозиметра, а также может вывести его из строя. Поэтому дозиметрический контроль проводился в точках 1.1-1.7, 2.1-2.7, 3.1-3.7 и 4.1, а также в помещении второго этажа, располагающегося над установкой «АСТРА-М». Корректность моделирования проверялась моделированием в точках 1.4, 2.3 и 3.3.

4.1 Дозиметрический контроль установки «АСТРА-М»

Дозиметрический контроль установки «АСТРА-М» проводился по аналогии с [16], поскольку данные методические рекомендации определяют

порядок проведения радиационного контроля ускорительных комплексов с ускорителями электронов с энергией до 10 МэВ.

Согласно данным методическим рекомендациям для проведения радиационного контроля должны использоваться рентгеновские или гамма-дозиметры, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и удовлетворяющие техническим требованиям, указанным в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнительная характеристика требований к дозиметрическому оборудованию и технических характеристик ДКС-АТ1123

	Требования, указанные в методических рекомендациях	Технические характеристики дозиметра ДКС-АТ1123
Нижняя граница энергетического диапазона	не более 50 кэВ	15 кэВ
Верхняя граница энергетического диапазона	не менее 9 МэВ	10 МэВ
Возможность измерения импульсного фотонного излучения с длительностью импульса	от 1,0 мкс	0,01 мкс
Нижняя граница диапазона измерения мощности дозы импульсного фотонного излучения	не более 0,2 мкЗв/ч	0,1 мкЗв/ч
Нижняя граница диапазона измерения дозы импульсного фотонного излучения	не более 0,01 мкЗв	0,01 мкЗв

Дозиметр использовавшийся при проведении дозиметрического контроля удовлетворяется всем требованиям.

В ходе проведения дозиметрического контроля измерения проводились при работе установки в штатном режиме. Поскольку мощность дозы не может являться характеристикой поля импульсного излучения, измерение проводилось в режиме накопления дозы.

Полученное значение амбиентной дозы пересчитывалось в значение эффективной дозы на 1 импульс по формуле 4.1

$$H_1 = \bar{H} - \dot{H}_\phi \cdot \bar{t}_{\text{изм}} \quad (4.1)$$

где \bar{H} – среднее значение амбиентной дозы; \dot{H}_ϕ – фоновое значение мощности амбиентной дозы; $\bar{t}_{\text{изм}}$ – среднее значение времени измерения.

Величина эффективной дозы в год вычислялась по формуле 4.2.

$$H_{\text{год}} = H_1 \cdot n \cdot t_{\text{год}} \quad (4.2)$$

где n – количество импульсов, генерируемых установкой за 1 час работы, $n = 3600$; $t_{\text{год}}$ – количество часов работы установки в год, $t_{\text{год}} = 1700$ ч.

Измерения проводились на высоте 1 м от пола с шагом 1 м вдоль стен помещения, в котором располагается установка (рис. 4.1). Результаты дозиметрического контроля вдоль зоны ограничения доступа представлены в таблице А (Приложение А).

В пультовой, на рабочем месте персонала группы А измерения проводились на трех высотах 10, 90 и 150 см. Результаты дозиметрического контроля в пультовой представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты дозиметрического контроля в пультовой

Высота, см	Амбиентная доза H , нЗв	Время измерения $t_{\text{изм}}$, с	Среднее значение амбиентной дозы \bar{H} , нЗв	Среднее значение времени измерения $\bar{t}_{\text{изм}}$, с	Фон \dot{H}_ϕ , нЗв	Доза в импульсе H_1 , мЗв	Доза в год $H_{\text{год}}$, мЗв
10	2	64	2	57,0	1,0	0,1	0,5
	2	52					
	2	55					
90	3	91	3	87,7	1,6	0,1	0,7
	3	88					
	3	84					
150	4	74	4	76,0	1,4	0,1	0,8
	4	75					
	4	79					

В помещении, располагающемся над помещением с установкой «АСТРА-М», измерены значения дозы в узлах сетки со сторонами 1м×1м на высоте 1 м над полом (рис. 4.2).

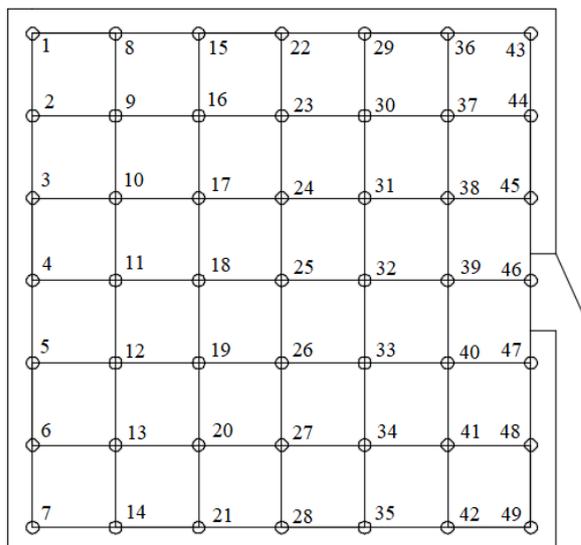


Рисунок 4.2 – План помещения на втором этаже

Результаты дозиметрического контроля в помещении на втором этаже представлены в таблице Б (Приложение Б).

Пространственное распределение дозы в год построено при помощи программы Wolfram Mathematica 11.3 и представлено на рис. 4.3.

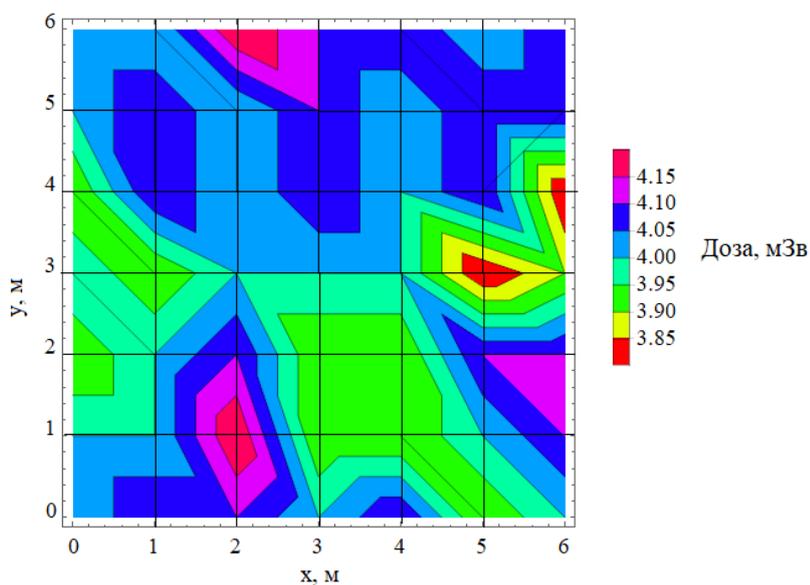


Рисунок 4.3 – Пространственное распределение дозы в год в помещении второго этажа

4.2 Расчет дозовых характеристик поля при помощи универсальных таблиц и моделирования

С помощью программы Компьютерная лаборатория была создана модель установки «АСТРА-М» с заданными параметрами:

– размеры слоев по оси X: алюминий – 0,014 см, железо (в обоих случаях) – 0,3 см, воздух – 0,5 см, воздух – 100 см, бетон – 20 см;

– размеры слоев по оси Y: для всех веществ – 14 см.

На рисунке 4.4 представлена геометрия моделирования.

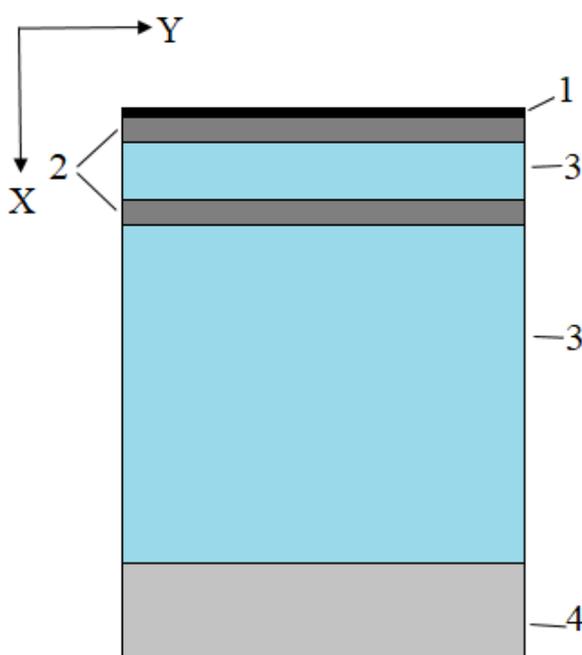


Рисунок 4.4 – Модель эксперимента. Цифрами обозначены следующие материалы: 1 – алюминий; 2 – нержавеющая сталь; 3 – воздух; 4 – бетон

Поскольку в программе Компьютерная лаборатория невозможно провести моделирование работы импульсного источника излучения, моделирование проводилось для источника непрерывного излучения с основными параметрами аналогичными установке «АСТРА-М» (технические характеристики приведены в пункте 3.1 данной работы). Далее планируется

пересчет полученных значений дозы облучения тока источника. Написание файла для расчета производилось в программе FarManager.

Моделирование проводилось в двух режимах: ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ и БАРЬЕР. Сперва в режиме ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ проводился расчет спектра тормозного излучения и далее уже в режиме БАРЬЕР источник задавался как источник тормозного излучения.

Полученные траектории первичных и вторичных частиц представлены на рис. 4.5.

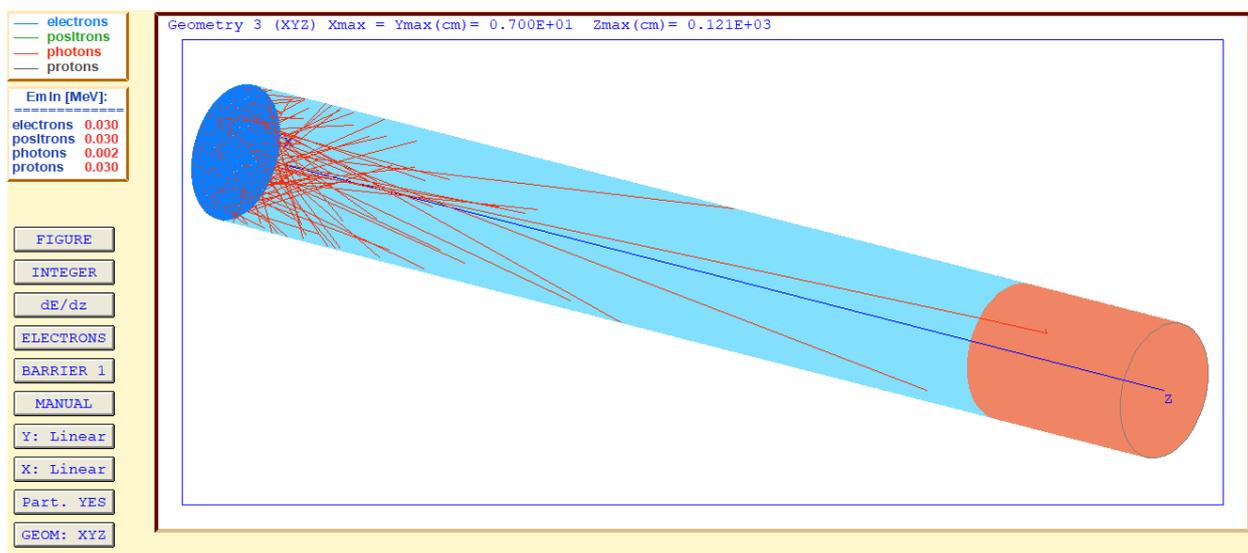


Рисунок 4.5 – Моделирование траекторий первичных электронов и вторичных фотонов в программе Компьютерная лаборатория

Дальнейший расчет проводился согласно [17] при помощи универсальных таблиц.

Из рассчитанных программой данных берем дозу на расстоянии $F = 1$ м (рис.4.5) от источника до центра площадки, куда падает первичное тормозное излучение, чтобы при помощи инженерных методов расчета оценить дозу внутри помещения, где находится установка «АСТРА-М».

Доза на расстоянии F от источника с учетом тока установки ($i = 994$ А) составляет

$$\begin{aligned} \dot{D} &= 5,36 \cdot 10^{-9} \left(\frac{\text{мкГр}}{\text{эл-н}} \text{м}^2 \right) \cdot \frac{1}{1,6} \cdot 10^{19} \left(\frac{1}{\text{А} \cdot \text{с}} \right) \cdot 994 (\text{А}) \cdot 3600 \left(\frac{\text{с}}{\text{ч}} \right) = \\ &= 1,2 \cdot 10^{17} \left(\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \text{м}^2 \right) \end{aligned}$$

Площадь, на которую падает первичный тормозной пучок с учетом небольшой расходимости пучка ($\theta_0 \approx 5^\circ$), где r – радиус площадки, на которую падает первичное тормозное излучение

$$r = \tan \theta_0 \cdot F = 0,09 \text{ (м)}$$

$$S = \pi \cdot r^2 = 2,54 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^2\text{)}$$

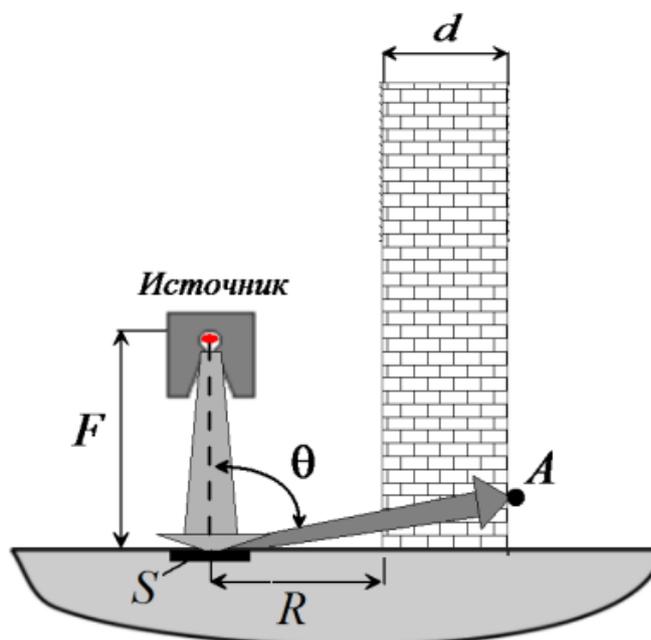


Рисунок 4.6 – Геометрия расчета дозы в импульсе от рассеянного излучения

Величина интегрального дозового альbedo первичного тормозного излучения от бетона взята из табл. 10.3 [17]

$$a_D(0,5; 0^\circ) = 0,149$$

Мощность дозы в импульсе отраженного тормозного излучения на расстоянии R от центра площадки, на которую падает первичный пучок рассчитывается по формуле 4.3

$$\dot{D}_0 = \frac{\dot{D} \cdot S \cdot a_D}{2\pi \cdot F^2 \cdot R^2} \left(\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \right) \quad (4.3)$$

Мощность эквивалентной дозы в импульсе за защитой рассчитывается по формуле 4.4

$$\dot{D} = \dot{D}_0 \cdot e^{-(\Sigma d)} \left(\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \right) \quad (4.4)$$

где Σ – линейный коэффициент ослабления энергии фотонов берется согласно [17], для бетона $\Sigma(0,15) = 0,345 \frac{1}{\text{см}}$, $d = 40$ см; для свинца $\Sigma(0,15) = 21,792 \frac{1}{\text{см}}$, $d = 0,7$ см.

Таким образом значение мощности эквивалентной дозы в импульсе за защитой вычисляется по формуле 4.5

$$\dot{H} = \dot{D} \cdot 1,09 \left(\frac{\text{мкЗв}}{\text{ч}} \right) \quad (4.5)$$

Значение эффективной дозы в импульсе за защитой рассчитывается по формуле 4.6

$$H_1 = \dot{H} \cdot t_{\text{имп}} \text{ (мкЗв)} \quad (4.6)$$

где $t_{\text{имп}}$ – длительность импульса, $t_{\text{имп}} = 210$ нс.

Значение эффективной дозы в год вычисляется по формуле 4.2

Таблица 4.3 – Результаты расчетов

Номер точки	Мощность дозы в импульсе \dot{H} , мкЗв/ч	Допустимая мощность дозы персонала гр.А, мкЗв/ч	Расчётная доза в импульсе H_1 , мкЗв	Экспериментальное значение дозы в импульсе $H_{1,\text{экс}}$, мкЗв	Расчетная доза в год $H_{\text{год}}$, мЗв	Предел дозы, мЗв
1.3	$1 \cdot 10^8$	12	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	5	20
1.4	$8 \cdot 10^7$		$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	3	
1.6	$1 \cdot 10^8$		$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	4	
2.2	$2 \cdot 10^8$		$9 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	6	
2.3	$2 \cdot 10^8$		$9 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	6	
2.6	$7 \cdot 10^7$		$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	2	
3.3	$5 \cdot 10^7$		$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	2	

Экспериментальные и теоретические данные хорошо согласуются, расхождение обусловлено погрешностью прибора, а также неточностью данных о физических характеристиках защиты.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

На сегодняшний день перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Главной целью выпускной квалификационной работы является исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучение установки «АСТРА-М». В ходе выполнения работы выявлены основные особенности дозиметрии импульсных пучков ионизирующего излучения. Проведен анализ исследований о методах и приборах, которые возможно использовать в полях импульсных излучений. Создана математическая модель установки «АСТРА-М», разработана схема проведения дозиметрического контроля установки «АСТРА-М» и проведен радиационный контроль установки.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для оценки и сравнения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены следующие критерии (таблица 5.1), которые позволяют учитывать технические, эксплуатационные и экономические характеристики разработки.

Одними из ближайших аналогов для программы PCLab, в которой проводилось моделирование, являются программы Geant4 и MCNPX.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
3. Энергоэкономичность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
5. Надежность	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
5. Потребность в ресурсах памяти	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	5	5	4	1	1	0,8
7. Простота эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	3	4	2	0,06	0,08	0,04
3. Цена	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
Итого	1	54	53	46	4,69	4,27	3,98

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что использованная программа является наиболее актуальной и перспективной, имея при этом конкурентоспособность на рынке.

5.1.2 SWOT-анализ

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

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Ясная методика получения данных	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки
С2. Экологичность технологии	Сл2. Требуется высокая квалификация специалистов
С3. Экономичность и энергоэффективность технологии	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию
С5. Безопасность технологии	Сл5. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности
С5. Новизна идеи научного исследования	

Продолжение таблицы 5.2

Возможности	Угрозы
В1. Востребованность данного исследования в научном сообществе	У1. Низкий коммерческий интерес к технологии
В2. Увеличение спроса на использовании в производстве и медицине	У2. Появление зарубежных конкурентов и более ранний их выход на рынок
В3. Уменьшение затрат на проведение дозиметрического контроля и на стадии планирования помещений, где содержатся установки, генерирующие ионизирующее излучение	
В5. Внедрение технологии на мировой рынок	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 5.3–5.6.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	+
	B2	-	+	+	+	-
	B3	-	-	+	-	-
	B4	+	-	-	-	+

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	-	-	-
	B2	-	+	-	-
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

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

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Ясная методика получения данных; С2. Экологичность технологии; С3. Экономичность и энергоэффективность технологии; С5. Безопасность технологии; С5. Новизна идеи научного исследования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2. Требуется высокая квалификация специалистов; Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию; Сл5. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности</p>
<p>Возможности В1. Востребованность данного исследования в научном сообществе; В2. Увеличение спроса на использование в производстве и медицине; В3. Уменьшение затрат на проведение</p>	<p>Новизна идеи научного исследования только усиливает интерес и повышает востребованность научного исследования в научном сообществе. Заявленные экономичность, энергоэффективность, экологичность и безопасность обеспечат появление дополнительного спроса на использование в производстве и медицине. Также экономичность и энергоэффективность</p>	<p>Увеличение спроса на технологию в производстве и медицине позволит увеличить количество высококвалифицированных специалистов в данной области, поскольку на них также возрастет спрос. Востребованность данного исследования в научном сообществе может привести к скорому появлению прототипа данной технологии.</p>

<p>дозиметрического контроля и на стадии планирования помещений, где содержатся установки, генерирующие ионизирующее излучение; В5. Внедрение технологии на мировой рынок</p>	<p>обеспечивают снижение затрат на проведение дозиметрического контроля и на стадии планирования помещений, где содержатся установки, генерирующие ионизирующее излучение. А безопасность и ясная методика получения данных позволят новой технологии выйти на мировой рынок.</p>	
<p>Угрозы У1. Низкий коммерческий интерес к технологии; У2. Появление зарубежных конкурентов и более ранний их выход на рынок</p>	<p>Заявленные экономичность и безопасность технологии смогут повысить коммерческую заинтересованность в технологии. Общий уровень рынка установок, генерирующих ионизирующее излучение, на данный момент не способствует появлению новых конкурентов.</p>	<p>Высокие требования к квалификации специалистов и экспериментальному оборудованию, а так могут еще больше снизить коммерческий интерес к технологии.</p>

Согласно матрице SWOT-анализа, были определены сильные стороны проекта, которые обусловлены безопасностью, экономичностью и новизной технологии. Однако у данной технологии имеется слабая сторона – необходимость в высококвалифицированных специалистах и высокоточной технике. Также основной слабостью технологии является нехватка квалифицированных специалистов, т.к. установки, генерирующие ионизирующее излучение, очень сложные и требования к специалистам, обслуживающим их, высоки. Так как в настоящее время интерес к установкам, генерирующим ионизирующее излучение, только возрастает, данная технология обладает большими возможностями и конкурентоспособностью, как в России, так и за рубежом.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Создание математической модели эксперимента	Инженер
	7	Проведение моделирования распределения дозовых полей установки АСТРА-М	Инженер
	8	Измерение дозовых характеристик поля излучения установки АСТРА-М	Инженер

Продолжение таблицы 5.8

1	2	3	4
Обобщение и оценка результатов	9	Обработка полученных данных	Инженер
	10	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (5.2)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (5.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни; $ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (5.4):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (5.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 118 - 14} = 1,48 \quad (5.5)$$

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ожг}}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	3	-	6	-	4,2	-	4,2	7
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	2	2	6	1,4	3,6	2,5	4
3. Обзор научной литературы	-	7	-	12	-	7,6	7,6	12
5. Выбор методов исследования	-	4	-	7	-	5,2	5,2	8
5. Планирование эксперимента	2	6	4	10	2,8	7,6	5,2	8

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6. Создание математической модели эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение моделирования распределения дозовых полей установки АСТРА-М	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
8. Измерение дозовых характеристик поля излучения установки АСТРА-М	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
10. Анализ правильности полученных результатов	2	4	4	6	2,8	4,8	4,8	7
11. Составление пояснительной записки	-	6	-	10	-	7,6	7,6	12
Итого:	8	57	16	93	11,2	71,4	70,7	109

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	7	■													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4		■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	12			■											
4	Выбор методов исследования	Исп2	8			■											
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	8			■											
6	Создание математической модели эксперимента	Исп2	9				■										
7	Проведение моделирования распределения дозовых полей установки АСТРА-М	Исп2	6				■										
8	Измерение дозовых характеристик поля	Исп2	18					■									

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	излучения установки АСТРА-М															
9	Обработка полученных данных	Исп2	18													
10	Анализ правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	7													
11	Составление пояснительной записки	Исп2	12													

Примечание:

 – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

5.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

5.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Материальные затраты представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Карандаш ч/г Faber-Castell "Grip 2001" HB	62,5	2	135
Ручка гелевая ErichKrause G-Soft, (в пакете 2 шт.)	82	1	82
Бумага офисная А4, класс С, СНЕГУРОЧКА, 500 л.	263,5	1	263,5
Картридж NVP совместимый с HP LaserJet	652	1	652
Итого:			1132,5

5.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (5.6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} t \quad (5.7)$$

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

Таблица 5.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	Н _А , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	
1	Электронный импульсный ускоритель АСТРА-М	1	30	0,17	0,03	8 000 000	3 400
2	Дозиметр ДКС-АТ1123	1	10	0,17	0,1	244 600	346,5
3	Ноутбук HP TPN-C126	1	3	1,5	0,33	27 300	1126
4	Принтер HP LaserJet 1020	1	3	0,13	0,33	12 090	43,2
Итого:						4 915,7 руб.	

5.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (5.8)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 5.9).

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{тс}(1 + k_{пр} + k_d)k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб} \quad (5.9)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{тс}(1 + k_{пр} + k_d)k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб} \quad (5.10)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{251} = 2104,5 \text{ руб} \quad (5.11)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;
 M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{224} = 1657,5 \text{ руб} \quad (5.12)$$

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	53/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/0	24/0
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	224

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{о}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}, \text{руб}$	$Z_{\text{дн}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$Z_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2104,5	11,2	23 570,4
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1657,5	71,4	118 345,5
Итого:								141 915,9

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 23570,4 = 3535,6 \text{ руб} \quad (5.13)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 118345,5 = 17751,8 \text{ руб} \quad (5.14)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

5.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (23570,4 + 3535,6) = 8131,8 \text{ руб} \quad (5.15)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (118345,5 + 17751,8) = 40829,2 \text{ руб} \quad (5.16)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

5.2.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 5.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
4 915,7	1 132,5	141 915,9	21 287,4	48 961	218 212,5

Величина накладных расходов определяется по формуле (5.17):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (5.17)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование дозовый полей импульсного ионизирующего излучения установки «АСТРА-М» по форме, приведенной в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты НИР	1 132,5	Пункт 5.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	4 915,7	Пункт 5.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	141 915,9	Пункт 5.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21 287,4	Пункт 5.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	48 961	Пункт 5.2.3.4
6	Накладные расходы	43 624,5	Пункт 5.2.3.5
Бюджет затрат НИР		261 855	Сумма ст. 1- 6

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{исп}}^i = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (5.18)$$

где $I_{исп}^i$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -ого варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Так как разработка имеет одно исполнение, то:

$$I_{исп}^1 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = 1$$

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

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \quad (5.19)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -ого варианта исполнения; a_i – весовой коэффициент для i -ого варианта исполнения; b_i – бальная оценка i -ого варианта исполнения, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Оценка характеристик исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4
2. Удобство эксплуатации	0,2	4
3. Экологичность производства	0,2	5
5. Надежность	0,2	4
5. Безопасность	0,3	5
ИТОГО	1	22

$$I_p = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,5$$

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

$$I_{испi} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}^{испi}} \quad (5.20)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 5.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (5.21)$$

Таблица 5.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,5

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. В данном случае имеет лишь один вариант решения задачи. Следовательно, предоставленный вариант и предполагается лучшим.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

– Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что использованная для моделирования программа является наиболее актуальной и перспективной, имея при этом конкурентоспособность на рынке.

– В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 109 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 71,4 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 11,2 дней;

– Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 216 855 руб.;

– Исходя из полученных данных и проведенного анализа эффективности, можно сделать вывод, что первый вариант исполнения является наиболее эффективным с позиции ресурсоэффективности.

В выполненной выпускной квалификационной работе были достигнуты экономические и технические критерии эффективности за счет функциональных возможностей разработки, а также социальные за счет востребованности такой технологии на рынке.

6 Социальная ответственность

Главной целью выпускной квалификационной работы является исследование дозовых полей импульсного ионизирующего излучения установки АСТРА-М. В ходе выполнения работы выявлены основные особенности дозиметрии импульсных пучков ионизирующего излучения. Проведен анализ исследований о методах и приборах, которые возможно использовать в полях импульсных излучений. Создана математическая модель установки «АСТРА-М», разработана схема проведения дозиметрического контроля установки «АСТРА-М» и проведен радиационный контроль установки.

Данный раздел посвящен анализу вредных и опасных факторов производственной среды для операторов ПЭВМ, а также при работе с установками, генерирующими ионизирующее излучение. Также будут решены вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативных документов.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс РФ осуществляет регулирование отношений между работником и работодателем, которые касаются продолжительности рабочего дня, предоставления отпусков, оплат труда и т.д.

Продолжительность рабочего дня устанавливается согласно трудовому договору, однако не должна превышать 40 часов в неделю. При работе с вредными или опасными условиями труда длительность рабочего дня составляет 8 часов (при 36-часовой рабочей неделе) и 6 часов (при 30-часовой рабочей неделе). В ночное время продолжительность смены сокращается на 1 час. Каждому работнику должен быть предоставлен перерыв во время рабочего дня не менее 30 минут, но не более 2 часов, который не включается в рабочее время [19].

Каждому работнику предоставляется отпуск в 28 календарных дней. При работе с вредными или опасными условиями труда предоставляются дополнительные отпуска [19].

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере согласно Федеральному закону от 28.12.2013 N 421-ФЗ. Законодательством РФ запрещена дискриминация по любым признакам и принудительный труд.

6.2 Производственная безопасность

Для обеспечения производственной безопасности необходимо проанализировать воздействия на человека вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проекта.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 6.1 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовлен ие	Эксплуата ция	
1.Отклонение параметров микроклимата воздушной среды	+	+	+	СанПиН 2.2.5.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

Провождение таблицы 6.1

2. Повышенный уровень электромагнитных полей	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
3. Повышенный уровень ионизирующих излучений		+		СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009
5. Недостаток необходимого естественного и искусственного освещения	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
5. Вредные вещества		+		СанПиН 2.6.1.2573-10 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ
6. Шум		+		СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
7. Нервно-психические перегрузки	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
8. Электрический ток	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

6.2.1.1 Отклонение параметров микроклимата воздушной среды

Документом, устанавливающим гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений, являются СанПиН

2.2.5.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

Основными показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

ПЭВМ, вспомогательная техника, а также приборы освещения в процессе работы выделяют тепло. Высокая температура способствует быстрой утомляемости и перегреву организма при нахождении в непосредственной близости от источников тепла. Влажность также оказывает значительное влияние на терморегуляцию человека, так низкая влажность может привести к высыханию кожи, слизистых оболочек и общему обезвоживанию организма, а высокая – к повышенной отдаче тепла и возможному перегреву организма.

В таблице 6.2 приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах, которые установлены санитарными нормами для различных категорий работ в разные периоды года [22]. При работе за ПЭВМ категория работ является легкой (1а), поскольку не возникает систематических физических нагрузок.

Таблица 6.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

6.2.1.2 Повышенный уровень электромагнитных полей

Документом, устанавливающим требования к показателям уровня электромагнитных излучений от ПЭВМ, СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Основными источниками электромагнитных излучений в рабочих помещениях являются дисплеи компьютеров и мобильных устройств, сеть электропроводки, системный блок, блоки питания, дисплеи дозиметрических приборов. Воздействие электромагнитного излучения может привести к нарушению функций сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем, а также пищеварительного тракта, изменению состава крови.

В таблице 6.3 приведены допустимые уровни параметров электромагнитных полей [23].

Таблица 6.3 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

	Наименование параметров	Допустимые значения
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 Кв/м

6.2.1.3 Повышенный уровень ионизирующих излучений

Документом, устанавливающим требования к обеспечения радиационной безопасности, являются СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

Основным источником ионизирующего излучения в рабочем помещении является высокочастотный импульсный электронный ускоритель «АСТРА-М».

Под влиянием ионизирующих излучений в организме происходит торможение функций кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, расстройство деятельности желудочно-кишечного тракта, истощение организма, снижение сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям, увеличение числа белых кровяных телец (лейкоцитоз).

В таблице 6.4 приведены основные пределы доз [24].

Таблица 6.4 – Основные пределы доз.

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)*	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза в год в		
– хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
– коже	500 мЗв	50 мЗв
– кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

* Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

6.2.1.4 Недостаток естественного и искусственного освещения

Документом, устанавливающим требования к освещенности рабочего места, являются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

Причинами недостаточности естественного и искусственного освещений являются отдаленность рабочего места от источников освещения, недостаточная мощность и некачественность источников освещения, неподходящие погодные факторы или время суток. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения.

В таблице 6.5 представлены нормативные показатели искусственного освещения при работах заданной точности [25].

Таблица 6.5 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий для операторов ПЭВМ.

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						Всего	В том числе общего	
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний, большой	Светлый средний	400	200	200

6.2.1.5 Вредные вещества

При взаимодействии ионизирующего излучения с воздухом образуется ряд токсических веществ, превышение концентрации которых может представлять опасность для здоровья человека. Для уменьшения концентрации

токсических веществ рассчитывают и устанавливают специальную вытяжную вентиляцию. Необходимо учитывать, что при работе электронного ускорителя в основном образуется озон, соответственно, расчет вентиляции проводится по выбросам озона. В таблице 6.6 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых токсических веществ для персонала [26].

Таблица 6.6 – Значения ПДК некоторых токсических веществ

Вещество	ПДК, мг/м ³	Примечание
Озон	0,1	При выводе электронного пучка в воздух в основном образуется озон. Его концентрация в зоне пучка может во много раз превышать ПДК
Двуокись азота	2,0	–
Окись углерода	30	Выделяется при термическом разложении под пучком излучения органических веществ (древесины, смолы, резины и др.)
Стирол	5,0	–
Малеиновый ангидрид	1,0	Летучие компоненты ряда смол, используемых в процессах радиационно-химического отвержения покрытий. Раздражают слизистые оболочки глаз, носа, легких, вызывают экзему
Фталеиновый ангидрид	1,0	

6.2.1.6 Шум

Документом, устанавливающим требования уровню шума на рабочем месте, являются СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Источниками шума во время работы являются вакуумный насос, трансформатор. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

В таблице 6.7 представлены предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука [27].

Таблица 6.7 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Творческая деятельность, научная деятельность, конструирование и проектирование в лаборатории	86	71	61	54	49	45	42

6.2.1.7 Нервно-психические перегрузки

Документом, содержащим рекомендации по снижению нагрузки на нервно-психическое состояние работника, являются СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Причинами нервно-психических перегрузок работника могут быть умственные перенапряжения, монотонность труда, а также эмоциональные перегрузки. Категории трудовой деятельности различаются по степени тяжести выполняемых работ. Для снижения воздействия рассматриваемого вредного фактора предусмотрены регламентированные перерывы для каждой группы работ – таблица 6.8.

Таблица 6.8 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида категории трудовой деятельности с ПЭВМ.

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, ч	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

6.2.1.8 Поражение электрическим током

Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03, вопросы требований к защите от поражения электрическим током освещены в ГОСТ 12.1.038-82.

Источниками опасного фактора являются токопроводящие кабели, элементы электрооборудования. Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно. Электрический ток, проходя через живой организм оказывает термическое (ожоги, нагрев и повреждение кровеносных сосудов, перегрев сердца, мозга и других органов), электролитическое (разложение органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом) и биологическое действие (нарушение внутренних биоэлектрических процессов, свойственных нормально действующему организму и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями).

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 6.9 [29].

Таблица 6.9 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки

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

Для оператора ПЭВМ при работе с электрическим оборудованием обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо сообщить сотруднику, ответственному за оборудование.

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Системы вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха являются основными мерами по поддержанию нормальных значений параметров микроклимата на рабочем месте. В помещениях для работы с ПЭВМ должна производиться ежедневная влажная уборка, а также систематическое проветривание после каждого часа работы.

Необходимо использовать технику, удовлетворяющую нормам и правилам сертификации, чтобы максимально исключить негативное воздействие электромагнитных излучений. Также можно использовать различные фильтры и экраны для защиты человека, работающего за ПЭВМ.

Для защиты от воздействия ионизирующих излучений на организм используются следующие три метода: защита количеством, временем и расстоянием. К числу основных профилактических мероприятий относятся правильный выбор планировки помещений, оборудования, отделки помещений,

технологических режимов, рациональная организация рабочих мест, соблюдение мер личной гигиены работающими, рациональные системы вентиляции, защиты от внешнего и внутреннего облучения, сбора и удаления радиоактивных отходов, а также использование средств индивидуальной защиты.

Необходимая освещенность на рабочем месте достигается за счет искусственного освещения люминесцентными лампами.

При превышении уровня шума наиболее эффективны мероприятия, ведущие к снижению шума в источнике его возникновения. Коллективные средства защиты от шума: звукоизоляция и глушители. Средства индивидуальной защиты от шума: наушники, закрывающие ушную раковину снаружи; вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход; противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

Для минимизации нервно-психических перегрузок при работе за ПЭВМ рекомендуется чередовать работу с использованием ПЭВМ и без него. Если это невозможно, то необходимо организовать перерывы длительностью 10-15 минут каждые 45-60 минут работы.

При эксплуатации электрооборудования рекомендуется использовать основные и дополнительные средства защиты. К основным изолирующим электрозщитным средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: изолирующие штанги всех видов; изолирующие клещи; указатели напряжения и др. К дополнительным относятся: диэлектрические перчатки и боты; диэлектрические ковры и изолирующие подставки; штанги для переноса и выравнивания потенциала. Корпуса всех электроустановок должны иметь заземление. Также используются предохранители, автоматические выключатели, системы защиты от поражения электрическим током

6.3 Экологическая безопасность

Моделирование и обработка данных за ПЭВМ является экологически безопасными видами работ. В процессе производства современных ПЭВМ почти не используются опасные для окружающей среды и человека вещества. Исключения – аккумуляторные батареи компьютеров и дозиметров, содержащие щелочи, кислоты и тяжелые металлы, которые наносят вред окружающей среде при неправильной утилизации. Во избежание этого батареи с истекшим сроком службы необходимо сдавать для утилизации в специальные организации, которые занимаются приемом, утилизацией и переработкой аккумуляторных батарей [28].

Если защита ускорителя выполнена правильно, то действие его вредных факторов на окружающую среду минимально.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [29].

Чрезвычайные ситуации техногенного характера, которые могут возникнуть: взрывы и пожары в зданиях и на коммуникациях, внезапное обрушение зданий.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией на рабочем месте является пожар, который может возникнуть в результате: короткого замыкания или перегрева оборудования в результате неправильной эксплуатации. В случае возникновения пожара необходимо:

- сообщить о возникновении пожара ответственному лицу или обратиться в службу пожаротушения;
- отключить питание электрооборудования;
- приступить к тушению имеющимися первичными средствами пожаротушения (переносные и передвижные огнетушители; пожарные краны и средства обеспечения их использования; пожарный инвентарь; покрывала для изоляции очага возгорания; генераторные огнетушители аэрозольные переносные);
- при возникновении угрозы жизни необходимо незамедлительно покинуть опасную зону.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо по окончании рабочего дня обесточивать электроустановки и бытовые электроприборы, под напряжением могут оставаться только дежурное освещение и пожарная сигнализация. Также перед началом работы необходимо проверять все технологические узлы и токоведущие части электроустановок и электроприборов.

6.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работников, выявлены возможные вредные и опасные факторы, также проведен их анализ и обоснован ряд мероприятий по снижению их воздействия на исследователя.

Также в данном разделе рассмотрен характер воздействия процесса исследования на окружающую среду.

В последнем подразделе проанализированы возможные чрезвычайные ситуации. Наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара на рабочем месте вследствие возгорания оборудования. В конце данного подраздела описаны превентивные меры по предупреждению возникновения пожара, а также необходимые действия при его возникновении.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы проведен литературный обзор по методам и приборам измерения дозовых полей импульсного ионизирующего излучения. Выявлены особенности каждого метода касаясь дозиметрии импульсного излучения. Для изучения полей импульсного излучения доступно ограниченное число моделей дозиметров. На зарубежном рынке на сегодняшний день представлены всего пять дозиметрических приборов, пригодных для регистрации импульсного излучения.

Ускорительный комплекс «АСТРА-М» является сложным источником ионизирующего излучения с точки зрения дозиметрического контроля в силу генерации импульсного, а не непрерывного излучения. Соответственно при проведении дозиметрического контроля установки главной дозовой характеристикой поля является величина дозы, а не мощности дозы.

При проведении дозиметрического контроля установки «АСТРА-М» не было выявлено превышений основных пределов доз, установленных в НРБ-99/2009. На границе зоны ограничения доступа, а также в помещении, располагающемся над помещением с установкой, усредненное значение эквивалентной дозы в год имеет постоянное значение в силу того, что все излучение, генерируемое установкой, рассеивается равномерно и изотропно.

Программа «Компьютерная лаборатория» с некоторыми ограничениями подходит для создания модели установки «АСТРА-М» и расчета дозы первичного излучения. А в совокупности с инженерными методами расчета моделирование можно использовать для оценки распределения дозы импульсного излучения установки, генерирующей импульсное излучение.

Экспериментальные и теоретические данные хорошо согласуются, расхождение обусловлено погрешностью прибора, а также неточностью данных о физических характеристиках защиты.

Список использованных источников

- 1 МУ 2.6.1.25-2000. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования.
- 2 Б.П. Голубев Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: //Учебник для вузов/Под ред. Е.Л.Столяровой – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 1986. – 464 с.
- 3 Титов Н. В. Возможность применения дозиметров со счётчиком Гейгера-Мюллера для дозиметрии импульсного излучения // Radiation Hygiene, Vol. 12 №2, 2019 – 76-80 с.
- 4 Гинзбург Д. Ионизационная камера для измерений в полях импульсного фотонного излучения // АНРИ, №2, 2017. – 18-24 с.
- 5 Шендрик Р. Ю. Введение в физику сцинтилляторов – 2: учеб. пособие // Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. – 95 с.
- 6 Джагацпаян Р. В., Ромм Р. Ф., Таточенко Л. К. Применение радиоактивных изотопов для контроля химических процессов // М.: Госхимиздат, 1963. – 44-46 с.
- 7 Мартынюк Ю. Н., Нурлыбаев К., Певков А. А. Дозиметрия импульсного излучения // АНРИ, №1(92), 2018. – 2-11 с.
- 8 Дозиметр Ram Ion. Руководство по эксплуатации. – Москва: НПП «Доза», 2017. – 22 с.
- 9 Cobia. Reference Manual. – RTI, 2015. – p. 80.
- 10 RaySafe Xi. User Manual. – RaySafe, 2018. – p. 49.
- 11 Portable Ion Chamber Survey Meter Rad-Ion RI-02. Operating Manual. – Rotem Industries Ltd., 2013. – p. 58.
- 12 Piranha. Reference Manual. – RTI, 2015. – p. 100.
- 13 Егоров И. С. Разработка и исследование импульсного ускорителя с учётом запаздывания электронной эмиссии в диоде: дис. на соискание канд. техн. наук / Специальность: 01.05.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, ТПУ, 2015. 109 с.

14 Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123. Описание типа средства измерения. – Санкт-Петербург: ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2015. – 6 с.

15 Беспалов В. И. «Компьютерная лаборатория» (КЛ/PCLab). Описание программы. Руководство по работе с программой (Версия 9.10). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 128 с.

16 Проведение радиационного контроля инспекционно-досмотровых ускорительных комплексов: метод. рекомендации / сост.: Барковский А.Н., Воробьев Б.Ф., Голиков В.Ю., Добренякин Ю.Н., Мишин А.С. (ФГУН НИИРГ им. проф. Н.В.Рамзаева). Москва, 2008. – 30 с.

17 Беспалов В. И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие/ В. И. Беспалов; Томский политехнический университет. – 5-е изд., расшир. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 695 с.

18 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

19 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)

20 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

21 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

22 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

23 СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009.

24 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

25 СанПиН 2.6.1.2573-10 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ.

26 СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

27 ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1).

28 СанПиН 2.1.7.1322-03 Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления.

29 Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ (ред. от 01.04.2020) "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера".

Приложение А

(обязательное)

Таблица А Результаты дозиметрического контроля вдоль зоны ограничения доступа

Номер точки	Амбиентная доза H , нЗв	Время измерения $t_{\text{изм}}$, с	Среднее значение амбиентной дозы \bar{H} , нЗв	Среднее значение времени измерения $\bar{t}_{\text{изм}}$, с	Фон $\dot{H}_{\text{ф}}$, нЗв	Доза в импульсе H_1 , мЗв	Доза в год $H_{\text{год}}$, мЗв
1	2	3	4	5	6	7	8
1.1	28	58	28,0	61,3	1,5	0,7	4,1
	28	64					
	28	62					
1.2	27	65	27,7	70,0	1,7	0,6	4,0
	28	75					
	28	70					
1.3	27	85	27,7	79,0	1,9	0,6	3,9
	28	74					
	28	78					
1.4	29	111	28,3	96,3	2,4	0,6	4,0
	28	88					
	28	90					
1.5	27	72	27,3	76,0	1,9	0,6	3,9
	28	81					
	27	75					
1.6	28	67	28,0	70,0	1,7	0,7	4,0
	28	73					
	28	70					
1.7	28	78	28,0	83,7	2,0	0,6	4,0
	28	88					
	28	85					
2.1	27	84	27,3	78,3	3,7	0,6	3,6
	27	74					
	28	77					
2.2	28	74	28,0	69,7	3,3	0,6	3,8
	28	66					
	28	69					
2.3	28	89	28,0	80,0	3,8	0,6	3,7
	28	74					
	28	77					

1	2	3	4	5	6	7	8
2.4	28	97	27,7	86,3	4,1	0,6	3,6
	28	77					
	27	85					
2.5	18	72	20,3	69,0	3,3	0,4	2,6
	23	68					
	20	67					
2.6	6	58	6,7	66,3	3,2	0,1	0,5
	7	72					
	7	69					
2.7	16	70	17,3	67,7	3,2	0,4	2,2
	18	66					
	18	67					
3.1	16	62	17,7	71,3	1,7	0,4	2,4
	19	77					
	18	75					
3.2	22	78	21,7	71,3	1,7	0,5	3,1
	21	64					
	22	72					
3.3	22	74	23,3	73,3	1,7	0,5	3,3
	25	78					
	23	68					
3.4	20	66	21,3	62,7	1,5	0,5	3,0
	21	58					
	23	64					
3.5	18	90	18,0	85,7	2,0	0,4	2,4
	19	84					
	17	83					
3.6	19	77	19,0	74,7	1,8	0,4	2,6
	20	75					
	18	72					
3.7	19	86	17,7	76,7	1,8	0,4	2,4
	18	70					
	16	74					

Приложение Б

(обязательное)

Таблица Б – Результаты дозиметрического контроля в помещении на втором этаже

Номер точки	Амбиентная доза H , нЗв	Время измерения $t_{изм}$, с	Фон $\dot{H}_ф$, нЗв	Доза в импульсе H_1 , мЗв	Доза в год $H_{год}$, мЗв
1	2	3	4	5	6
1	28	85	2,1	0,6	4,0
2	28	80	2,0	0,7	4,0
3	27	74	1,8	0,6	3,9
4	28	70	1,7	0,7	4,0
5	27	73	1,8	0,6	3,9
6	28	80	2,0	0,7	4,0
7	28	77	1,9	0,7	4,0
8	28	79	1,9	0,7	4,0
9	29	84	2,1	0,7	4,1
10	29	85	2,1	0,7	4,1
11	28	90	2,2	0,6	3,9
12	28	74	1,8	0,7	4,0
13	28	75	1,8	0,7	4,0
14	29	86	2,1	0,7	4,1
15	29	70	1,7	0,7	4,2
16	28	84	2,1	0,6	4,0
17	28	75	1,8	0,7	4,0
18	28	82	2,0	0,6	4,0
19	29	90	2,2	0,7	4,1
20	30	98	2,4	0,7	4,2
21	29	95	2,3	0,7	4,1
22	29	81	2,0	0,7	4,1
23	28	55	1,3	0,7	4,1
24	28	60	1,5	0,7	4,1
25	28	74	1,8	0,7	4,0
26	27	75	1,8	0,6	3,9
27	28	98	2,4	0,6	3,9
28	28	87	2,1	0,6	4,0
29	28	58	1,4	0,7	4,1
30	28	76	1,9	0,7	4,0
31	28	75	1,8	0,7	4,0
32	28	64	1,6	0,7	4,0
33	28	96	2,3	0,6	3,9

1	2	3	4	5	6
34	27	57	1,4	0,6	3,9
35	28	62	1,5	0,7	4,1
36	28	76	1,9	0,7	4,0
37	28	57	1,4	0,7	4,1
38	28	62	1,5	0,7	4,1
39	27	85	2,1	0,6	3,8
40	29	95	2,3	0,7	4,1
41	28	75	1,8	0,7	4,0
42	27	73	1,8	0,6	3,9
43	28	62	1,5	0,7	4,1
44	28	58	1,4	0,7	4,1
45	27	88	2,2	0,6	3,8
46	27	64	1,6	0,6	3,9
47	28	51	1,2	0,7	4,1
48	28	62	1,5	0,7	4,1
49	28	66	1,6	0,7	4,0