

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02. Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерного топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ЗАДАННОЙ КОНФИГУРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПЛАСТИКОВЫХ КОМПЕНСАТОРОВ |

УДК 537.533:621.317.727.2:004.925.84

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 0А4А | Григорьева Анна Анатольевна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ИШФВЭП | Стучебров С.Г. | к. ф.-м. н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН | Меньшикова Е.В. | к. ф. н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|-----------------------------------|---|
| 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 (выпускник должен быть готов) |
|-------------------------------------|--|
| Профессиональные компетенции | |
| Р7 | Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования. |
| Р8 | 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). |
| Р9 | 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. |
| Р10 | 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 (выпускник должен быть готов) |
|-----------------------|---|
| 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 образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) – 14.03.02. Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерного 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 |
|--------|------------------------------|
| 0А4А | Григорьевой Анне Анатольевне |

Тема работы:

**СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ
ЗАДАННОЙ КОНФИГУРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПЛАСТИКОВЫХ
КОМПЕНСАТОРОВ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---------------------------------|--|
| Исходные данные к работе | Техническая документация для малогабаритного бетатрона с выведенным электронным пучком МИБ – 6Э, плоскопараллельной ионизационной камеры типа 23343 Markus, клинического дозиметра UNIDOS E, твердотельного тканеэквивалентного фантома RW3, дозиметрических пленок GafChromic EBT3. |
|---------------------------------|--|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературы по данной проблематике. 2. Постановка актуальности, цели и задач исследования. 3. Разработка и изготовление полимерного компенсатора методами трехмерной печати. 4. Исследование дозных полей электронных пучков бетатрона, сформированных с помощью полимерного компенсатора. 5. Обработка полученных результатов. 6. Анализ полученных результатов. Выводы. |
|--|--|

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

| Раздел | Консультант |
|---|-----------------------------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Меньшикова Екатерина Валентиновна |
| Социальная ответственность | Гоголева Татьяна Сергеевна |

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

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ИШФВЭП | Стучебров Сергей Геннадьевич | к. ф. – м. н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 0А4А | Григорьева Анна Анатольевна | | |

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) – 14.03.02. Ядерные физика и технологии
 Уровень образования – бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерного топливного цикла
 Период выполнения – весенний семестр 2018 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 05.02.2018 | Составление и утверждение технического задания | 2 |
| 15.02.2018 | Подбор и изучение материалов по теме | 4 |
| 26.02.2018 | Выбор направления исследования | 2 |
| 05.03.2018 | Проведение экспериментов | 16 |
| 30.03.2018 | Анализ и описание результатов | 12 |
| 25.05.2018 | Подготовка к защите ВКР | 4 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ИШФВЭП | Стучебров Сергей Геннадьевич | к. ф. – м. н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 0А4А | Григорьевой Анне Анатольевне |

| | | | |
|---------------------|-------------|---------------------------|--|
| Школа | ИЯТШ | Отделение | ОЯТЦ |
| Уровень образования | бакалавр | Направление/специальность | 14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды |

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

| | |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Затраты на спецоборудование 85 100 руб. Основная заработная плата исполнителей темы 88 369 руб. Дополнительная заработная плата исполнителей темы 10 605 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 26 822 руб. Накладные расходы 336,9 руб. Материальные затраты 2 040 |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт·ч Районный коэффициент города Томска -1,3 |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 27,1%. |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОГСН | Меньшикова Е.В. | к.ф.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 0А4А | Григорьева Анна Анатольевна | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|----------------|-------------------------------------|
| Группа 0А4А | ФИО Григорьевой Анне Анатольевне |
|----------------|-------------------------------------|

| | | | |
|---------------------|----------|---------------------------|--|
| Школа | ИЯТШ | Отделение школы (НОЦ) | ОЯТЦ |
| Уровень образования | бакалавр | Направление/специальность | 14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 0А4А | Григорьева Анна Анатольевна | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа 83 с., 20 рис., 24 табл., 21 источник, 1 прил.

Ключевые слова: пучок электронов, дозное поле, бетатрон, лучевая терапия, дозиметрическая пленка, аддитивные технологии.

Объектом исследования является формирование дозных полей электронных пучков для задач лучевой терапии.

Цель работы – исследование возможности применения полимерных компенсаторов, изготовленных с помощью современных технологий трехмерной печати, для задач формирования полей облучения.

В процессе исследования проводились: изучение технической литературы, разработка и изготовление формирующего пластикового компенсатора, исследование дозных распределений пучка электронов малогабаритного бетатрона с энергией 6,0 МэВ для овального аппликатора с размером поля $6 \times 8 \text{ см}^2$, обработка результатов экспериментальных данных, расчет финансовой составляющей работы.

В результате исследования были получены сложные сформированные поля облучения посредством применения полимерного компенсатора, изготовленного при помощи технологий быстрого прототипирования из ударопрочного полистирола (HIPS пластика). Также были получены результаты глубинного распределения дозы с использованием формирующего компенсатора и без него и профили распределения поглощенной дозы в тканеэквивалентном твердотельном фантоме. Оценена финансовая составляющая работа и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Область применения: медицинская физика, клиническая дозиметрия.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе описаны следующие термины с соответствующими определениями:

электрон: стабильная отрицательно заряженная элементарная частица.

ускоритель электронов: устройство, предназначенное для получения заряженных элементарных частиц (электронов) высоких энергий.

лучевая терапия: лечение ионизирующим излучением.

интраоперационная лучевая терапия: вид лучевой терапии, заключающийся в подведении к патогенному очагу большой однократной дозы облучения во время оперативного вмешательства.

злокачественное новообразование: заболевание, характеризующееся появлением бесконтрольно делящихся клеток, способных к инвазии и распространению по всему организму.

трехмерная печать: способ послойного изготовления объекта из трехмерной цифровой модели.

НПС пластик: ударопрочный полистирол – термопластичный полимер.

Используемые в работе обозначения и сокращения:

НПС – ударопрочный полистирол;

3D – трехмерный;

ИОЛТ – интраоперационная лучевая терапия;

ИИ – ионизирующее излучение.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 15 |
| 1. Литературный обзор | 17 |
| 1.1. Взаимодействие электронов с веществом | 17 |
| 1.2. Влияние ионизирующего излучения на организм человека | 20 |
| 1.3. Применение электронных ускорителей в медицине | 20 |
| 1.3.1. Электронная лучевая терапия | 21 |
| 1.3.2. Интраоперационная лучевая терапия | 22 |
| 1.4. 3D – технологии | 23 |
| 2. Материалы и методы | 26 |
| 2.1. Малогабаритный бетатрон с выведенным пучком электронов МИБ – 6Э 26 | |
| 2.2. Плоскопараллельная ионизационная камера Markus N 23343 | 27 |
| 2.3. Дозиметрическая пленка GafChromic EBT3 | 28 |
| 2.4. Клинический дозиметр UNIDOS E | 29 |
| 2.5. Твердотельный тканеэквивалентный фантом RW3 | 30 |
| 2.6. Программное обеспечение FilmQA Pro | 31 |
| 3. Экспериментальные исследования | 32 |
| 3.1. Калибровка пленочного дозиметра GafChromic EBT3 | 32 |
| 3.2. Оценка поля облучения открытого электронного пучка бетатрона | 34 |
| 3.3. Разработка формирующего элемента из HIPS-пластика | 37 |
| 3.4. Формирование дозного поля электронного пучка бетатрона | 40 |
| 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 43 |
| 4.1. Потенциальные потребители результатов исследования | 43 |
| 4.2. Анализ конкурентных технических решений | 44 |

| | |
|--|----|
| 4.3. SWOT – анализ..... | 45 |
| 4.4. Планирование НТИ..... | 48 |
| 4.4.1. Структура работ в рамках НТИ..... | 48 |
| 4.4.2. Определение трудоемкости выполнения НТИ..... | 49 |
| 4.4.3. Разработка графика проведения НТИ..... | 50 |
| 4.4.4. Бюджет научно – технического исследования | 52 |
| 4.4.5. Расчет материальных расходов | 52 |
| 4.4.6. Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ | 53 |
| 4.4.7. Основная заработная плата исполнителей | 54 |
| 4.4.8. Дополнительная заработная плата | 56 |
| 4.4.9. Отчисления во внебюджетные фонды | 56 |
| 4.4.10. Накладные расходы | 57 |
| 4.4.11. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта | 58 |
| 4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | 59 |
| 5. Социальная ответственность | 61 |
| 5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов | 61 |
| 5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на ПК и с источниками ИИ | 63 |
| 5.2.1. Организационные мероприятия | 63 |
| 5.2.2. Организация рабочего места оператора ПК | 63 |
| 5.2.3. Условия безопасной работы | 66 |

| | |
|--|----|
| 5.3. Радиационная безопасность | 68 |
| 5.3.1. Основы радиационной безопасности..... | 68 |
| 5.3.2. Индивидуальный дозиметрический контроль персонала | 71 |
| 5.3.3. Работа с ускорителями электронов | 72 |
| 5.4. Электробезопасность | 74 |
| 5.5. Пожарная безопасность | 75 |
| Заключение | 78 |
| Список использованной литературы..... | 80 |
| Приложение А | 83 |

Введение

В лучевой терапии в зависимости от решаемых задач применяются различные виды излучений.

Наиболее широко используется фотонное излучение: гамма – излучение изотопов и тормозное излучение ускорителей, являющееся оптимальным при облучении преимущественно глубоко залегающих опухолей. Большая проникающая способность фотонного излучения всегда приводит к некоторому лучевому поражению здоровых тканей, расположенных до и после опухоли.

На сегодняшний день успешно используется интраоперационная лучевая терапия пучками быстрых моноэнергетических электронов, которая заключается в подведении к опухоли высокой однократной дозы ионизирующего излучения непосредственно во время оперативного вмешательства [1]. При проведении таких процедур существует необходимость формирования сложных полей для облучения новообразований расположенных близко к критическим органам.

На практике при проведении сеансов интраоперационной лучевой терапии для снижения дозовой нагрузки применяются либо дополнительные фильтры, которые устанавливаются на пути следования пучка, позволяющие сместить объемное распределение дозы в тканях пациента ближе к поверхности, либо дополнительные блоки, помещающиеся в ткани под ложе опухоли, что требует дополнительного хирургического вмешательства [1]. Наличие метода быстрого и точного изготовления изделий сложной формы для формирования пучков электронов позволит избежать вышеописанных недостатков. Таким решением может стать применение методов быстрого прототипирования [2].

Таким образом, целью данной выпускной квалификационной работы было исследование возможности применения полимерных компенсаторов, изготовленных с помощью современных технологий трехмерной печати, для задач формирования полей облучения.

Для достижения цели выпускной квалификационной работы были поставлены и выполнены следующие задачи:

- обзор технической литературы;
- проведение калибровки пленочного дозиметра GafChromic EBT3;
- оценка поля облучения открытого электронного пучка бетатрона;
- подбор формы и размеров полимерного компенсатора на основе реального клинического случая;
- изготовление формирующего элемента из HIPS-пластика с помощью технологий трехмерной печати;
- проведение эксперимента по формированию дозного поля электронного пучка бетатрона с помощью полимерного компенсатора;
- обработка полученных результатов.

1. Литературный обзор

1.1. Взаимодействие электронов с веществом

Элементарные процессы взаимодействия электронов с веществом следующие: [3].

– упругое рассеяние в кулоновском поле атомов, основным следствием которого является изменение направления движения электронов (рассеяние);

– неупругие столкновения, в результате которых энергия частиц расходуется на возбуждение и ионизацию атомов. Основным результатом данного взаимодействия является уменьшение энергии первичных электронов (замедление) [3];

– тормозное излучение – испускание электромагнитного излучения в электрическом поле атомов. Тормозное излучение – это основной процесс потерь энергии электронов больших энергий (больше критической энергии) [3].

Прохождение электронов отличается от прохождения тяжелых заряженных частиц. Всему виной малая масса электрона $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ кг. Данный факт приводит к относительно большому изменению импульса при каждом столкновении, что вызывает заметное изменение направления движения электрона, и как результат – электромагнитное радиационное излучение электронов [4].

Потери энергии движущимися электронами в веществе можно разделить на ионизационные и радиационные. Энергетическая зависимость удельных ионизационных потерь падает с увеличением скорости до кинетических энергий, равных удвоенной энергии покоя электрона, а затем медленно поднимается. Радиационные потери наблюдаются при ускоренном движении свободной заряженной частицы в электрическом поле ядра [4].

Удельные радиационные потери энергии E_e - пропорциональны энергии и квадрату порядкового номера вещества:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_p \sim Z^2. \quad (1)$$

Ионизационные потери у электронов преобладают в области сравнительно небольших энергий. По мере увеличения кинетической энергии вклад ионизационных потерь в общие потери энергии уменьшается. С ростом энергии электрона E растут радиационные потери [4].

Так как удельные ионизационные потери $\left(\frac{dE}{dx}\right)_u \sim Z$, то отношение удельных радиационных и ионизационных потерь энергии пропорциональны ZE_e^- . Отношение K зависит в основном от энергии электрона и заряда среды Z :

$$K = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{рад} / \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ион} = ZE/600, \quad (2)$$

где E выражается в МэВ, Z – средний заряд ядер атомов среды.

Энергия электронов $E_{крит}$, при которой удельных ионизационных потерь равно величине удельных ионизационных потерь ($K=1$) – называется критической.

При энергиях электрона выше критической радиационные потери преобладают над ионизационными [4]. В области энергий, в которой преобладают радиационные потери, энергия электронов экспоненциально убывает при прохождении через вещество:

$$E = E_0 \exp\left(\frac{x}{L_r}\right), \quad (3)$$

где E_0 – начальная энергия электрона, E – энергия электрона после прохождения длины x , L_r – радиационная длина.

Формула для вычисления ионизационных потерь имеет вид:

$$\left(-\frac{dE_e}{dx}\right)_{ион} = \frac{2\pi e^4 n_e}{m_e v^2} \left[\ln \frac{m_e v^2 E_e}{2I^2(1-\beta^2)} - \ln 2(2\sqrt{1-\beta^2}) - 1 + \beta^2 \right], \quad (4)$$

где E_e – релятивистская кинетическая энергия электрона.

Это отличие объясняется тем, что при рассмотрении элементарного процесса взаимодействия двух электронов надо учитывать отклонение обеих частиц, а также квантовомеханический эффект обмена, обусловленный их

тождественностью [4]. При очень больших энергиях электроны начинают эффективно терять энергию за счет все большего возрастания роли тормозного излучения.

Удельные потери электронов с кинетической энергией E складываются из суммы ионизационных потерь и радиационных потерь:

$$E = m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (5)$$

Ионизационные потери

$$\left(-\frac{dE_e}{dx} \right)_{\text{ион}} = \frac{2\pi}{\beta^2} n_e r_0^2 m_e c^2 \left[\ln \frac{m_e c^2 E \beta^2}{2I^2 (1-\beta^2)} - (2\sqrt{1-\beta^2}) \ln 2 - 1 + \beta^2 + \frac{1}{8} (1 - (1-\beta^2)^2) \right], \quad (7)$$

Радиационные потери

При $E \ll m_e c^2$

$$\left(-\frac{dE_e}{dx} \right)_{\text{рад}} = \frac{n_e r_0^2 E}{137} \frac{16}{3} \quad (8)$$

При $m_e c^2 \ll E \ll 137 m_e c^2 Z^{1/3}$

$$\left(-\frac{dE_e}{dx} \right)_{\text{рад}} = \frac{n_e r_0^2 Z E}{137} \left[4 \ln \left(\frac{2E}{m_e c^2} \right) - \frac{4}{3} \right] \quad (9)$$

При $E \gg 137 m_e c^2 Z^{1/3}$

$$\left(-\frac{dE_e}{dx} \right)_{\text{рад}} = \frac{n_e r_0^2 Z E}{137} \left[4 \ln \left(\frac{183}{Z^{1/3}} \right) + \frac{2}{9} \right] \quad (10)$$

здесь m_e – масса электрона ($m_e c^2 = 211$ кэВ – энергия покоя электрона); c – скорость света; v – скорость электрона; $\beta = v/c$; Z – заряд ядер вещества в единицах заряда позитрона; $I=13.5$ эВ; n_e – плотность электронов в веществе; $r_0 = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2.8 \cdot 10^{-13}$ см – классический радиус электрона [4].

Радиационные потери при больших энергиях электронов можно описать с помощью следующего соотношения:

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{\text{рад}} = \frac{E}{L_r}, \text{ или } E = E_0 \exp \left(-\frac{x}{L_r} \right), \quad (11)$$

Величина L_r называется радиационной длиной. Радиационная длина – средняя толщина вещества, на которой энергия электрона уменьшается в e раз [4].

1.2. Влияние ионизирующего излучения на организм человека

При воздействии ИИ на живой организм в тканях происходят сложные физико – химические и биохимические процессы. Так как ИИ вызывает ионизацию молекул вещества и атомов, клетки и ткани под действием излучения могут разрушаться.

Известно, что человеческий организм состоит примерно на 80 % из воды. Вода под воздействием ИИ расщепляется на водород и гидроксильную группу. В дальнейшем они могут образовывать ряд вторичных высокоактивных продуктов (перекись водорода, гидратный окисел). Данные соединения, в свою очередь, взаимодействуют с молекулами органического вещества, окисляют их и разрушают. В итоге при воздействии ИИ на организм нарушается нормальное течение всех биохимических процессов, в том числе нарушается и обмен веществ.

В зависимости от полученной дозы излучения, а также от индивидуальных особенностей организма, изменения, вызванными излучением, могут быть обратимыми и необратимыми. Большие дозы и длительное воздействие ИИ вызывают необратимые поражения отдельных органов или тканей организма и характеризуются лучевой болезнью. В то время, как небольшие дозы не оказывают такого сильного влияния и пораженные ткани способны к регенерации и восстановлению функциональной деятельности.

Биологическое воздействие ИИ зависит от нескольких факторов: от полученной дозы, от вида ИИ, размеров облучаемой области, времени воздействия ИИ и индивидуальных особенностей организма.

1.3. Применение электронных ускорителей в медицине

Одним из быстро развивающихся направлений современной медицины является ядерная медицина. Данный вид направления имеет в своем арсенале

радиационные технологии, предназначенные для диагностики и терапии в областях научной и практической медицины, в основном в области онкологии.

К настоящему времени существует несколько способов борьбы с злокачественными новообразованиями в медицине, а именно: хирургическое вмешательство, химио -, гормоно -, иммунотерапия и, наконец, лучевая терапия. Обычно, для лечения применяют либо отдельные виды лечения, либо комбинируют их исходя из многих факторов, касающихся вида злокачественной опухоли, ее степени и тяжести протекания [5]. Главный принцип лучевой терапии заключается в создании достаточной дозы в патологическом очаге, для того чтобы полностью подавить рост опухолевых клеток, а также в минимизации облучения окружающих тканей.

Применение электронных ускорителей в медико-биологических исследованиях, на сегодняшний день, одно из наиболее быстро развивающихся, перспективных направлений использования электронных ускорителей.

1.3.1. Электронная лучевая терапия

Одним из видов лучевой терапии, предназначенной для лечения, в основном, злокачественных новообразований, является электронная лучевая терапия. Данный вид терапии заключается в облучении патологического очага пучком направленных электронов [5]. Патологический очаг облучается дистанционно, посредством использования бетатронов, линейных ускорителей, микротронов, рабочий диапазон которых может составлять от 1 до 45 МэВ.

Особенность при данном облучении заключается в том, что пространственное распределение дозы в тканях имеет высокий градиент (Рисунок 1). Данная особенность благоприятно влияет на условия облучения злокачественного новообразования, так как на окружающие здоровые ткани доза приходится меньше.

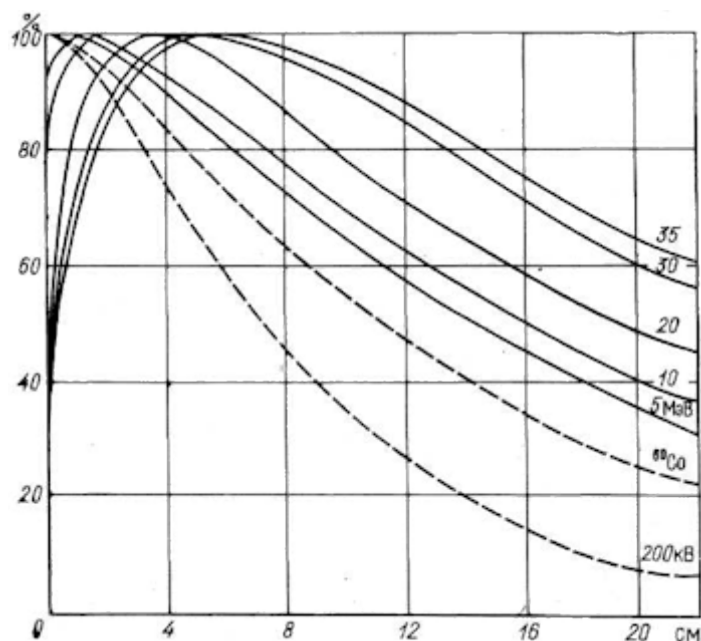


Рисунок 1 – Пример глубинного распределения поглощенной дозы [5]

Глубина резкого спада дозы, выраженная в сантиметрах, приблизительно равна половине значения энергии электронов в МэВ [5].

Данный вид лучевой терапии показан при поверхностно расположенных опухолях (рак кожи, молочных желез, слизистой оболочки полости рта, брюшной полости).

1.3.2. Интраоперационная лучевая терапия

Особенность интраоперационной лучевой терапии заключается в том, что данный вид лучевого лечения проводится непосредственно во время хирургического вмешательства. ИИ может быть направлено как на патологический очаг, так и на ложе удаленного новообразования. Также стоит отметить, что ИОЛТ – это подведение к паталогического очагу высокой, однократной дозы ИИ [5].

Продолжительность облучения при данной терапии может составлять от 1 до 40 минут.

Преимущества данного метода перед другими методами лучевой терапии:

- максимальная точность подвода узконаправленного ИИ к опухоли;

- низкая вероятность возникновения лучевого поражения здоровых тканей;
- минимизация риска рецидива;

В данной работе для проведения ИОЛТ использовался малогабаритный бетатрон МИБ – 6Э, находящийся в отделении Научно – исследовательского института онкологии Томского НИМЦ.

1.4. 3D – технологии

На сегодняшний день трехмерная печать очень прочно вошла в нашу жизнь. Они используются повсеместно: от науки до промышленности. Данной технологии оказалось подвластно все – от создания кровеносных сосудов до изготовления деталей космических кораблей.

Что же такое трехмерная печать? Если кратко, то это построение реального объекта по разработанному на ПК образцу трехмерной модели.

Сам процесс печати представляет собой ряд повторяющихся процессов, связанных с созданием трехмерных моделей, нанесением на рабочую область принтера (элеватора) слоя расходного сырья. Рабочие циклы повторяются один за другим, пока не будет готово изделие.

Если подробнее говорить о 3D – технологиях, то существует несколько видов процессов, посредством которых можно создавать готовое изделие. К ним относятся экструзия, УФ-отверждение, ламинирование, сплавление материалов, фотополимеризация, струйная печать.

Принцип действия аддитивных технологий основан на создании тонких горизонтальных слоев из трехмерных моделей, разработанных в системах автоматизированного проектирования и 3D – сканеров.

Наиболее часто используемый материал для трехмерной печати – это пластик. Далее будут рассмотрены наиболее часто используемые.

ABS – ударопрочный материал, относится к инженерным пластикам. Имеет более высокую стойкость ударным нагрузкам по сравнению с ударопрочным полистиролом, полистиролом общего назначения. Отличается износостойкостью и прочностью.

Некоторые физико-механические свойства представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства ABS пластика

| | | |
|------------------------------|----------------|-------------|
| Плотность, г/см ³ | | 1,02 – 1,02 |
| Прочность, МПа | при сжатии | 46 – 80 |
| | при изгибе | 50 – 87 |
| | при растяжении | 35 – 50 |
| Относительное удлинение, % | | 10 – 25 |
| Усадка при изготовлении, % | | 0,4 – 0,7 |
| Температура размягчения, °С | | 95 – 105 |

PLA (полилактид) пластик на сегодняшний день рассматривается как альтернатива ABS пластику. По сравнению с другими является биоразлагаемым и биосовместимым, но при этом отличается коротким сроком использования.

Физические свойства представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства PLA пластика

| | | |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Плотность, г/см ³ | | 1,23 – 1,25 |
| Прочность, МПа | при изгибе | 55,3 |
| | при разрыве | 57,8 |
| Усадка при изготовлении | | нет |
| Температура размягчения, °С | | 50 |
| Температура плавления, °С | | 173 - 178 |

HIPS (ударопрочный полистирол) – сополимер стирола с бутадиеновым каучуком. В последнее время является наиболее распространённым материалом в трехмерной печати, но немного привередливым из – за высокой степени усадки.

Некоторые технические характеристики представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики HIPS пластика

| | | |
|------------------------------|-------------|-----------|
| Плотность, г/см ³ | | 1,05 |
| Прочность, МПа | при изгибе | 33 |
| | при разрыве | 62 |
| Усадка при охлаждении, % | | 0,8 |
| Температура экструзии, °С | | 230 – 240 |

Преимущества HIPS перед другими материалами для печати:

- не поглощает влагу;
- не подвергается разложению;
- пластичный, поддается механической обработке;
- лучше переносит условия внешней среды.

2. Материалы и методы

2.1. Малогабаритный бетатрон с выведенным пучком электронов МИБ – 6Э

Малогабаритный бетатрон с выведенным пучком электронов МИБ-6Э (Рисунок 2) предназначен для интраоперационной лучевой терапии. Кроме того, данный вид ускорителей может использоваться лучевой терапии больных, имеющих поверхностные новообразования, как доброкачественные, так и злокачественные [6].



Рисунок 2 – Медицинский бетатрон МИБ – 6Э

Бетатроны МИБ – 6Э имеют ряд преимуществ, перед другими видами ускорителей: мобильность, относительно небольшая стоимость, малые габариты, легкость в обслуживании, возможность размещения в лечебном кабинете [6].

В комплекте с бетатроном также есть набор сменных выравнивающих фольг, аппликаторов, краевых рамок, предназначенных для формирования пучка электронов заданной энергии и конфигурации [6].

В Таблице 4 представлены основные характеристики бетатрона.

Таблица 4 – Технические характеристики бетатрона МИБ – 6Э [6]

| | |
|--|---------|
| Параметры | |
| Максимальная энергия электронов в терапевтическом пучке, МэВ | 6 |
| Диапазон регулировки энергии электронов в терапевтическом пучке, МэВ | 2-5,5 |
| Мощность поглощенной дозы электронного излучения на расстоянии 0,7 м от выходного окна в выравненном пучке, Гр/мин, не менее | 2 |
| Максимальный размер поля облучения на расстоянии 0,7 м, мм | 100x100 |
| Потребляемая мощность от сети переменного тока, не более, кВА | 2.5 |

2.2. Плоскопараллельная ионизационная камера Markus N 23343

Плоскопараллельная ионизационная камера Markus N 23343 (Рисунок 3) предназначена для точных измерений дозы высокоэнергетического электронного излучения [7].



Рисунок 3 – Плоскопараллельная ионизационная камера Markus N 23343 [7]

Данная ионизационная камера имеет малый чувствительный объем, водонепроницаемую контракцию, что позволяет использовать данное устройство в водном фантоме. Также она может использоваться в твердотельном фантоме. Номинальный диапазон энергий от 2 до 45 МэВ. Мембрана ионизационной камеры изготовлена из полиэтилена толщиной 0,03 мм. Камера Markus поставляется с защитным акриловым колпачком толщиной 0,87 мм (эквивалент 1 мм воды) для использования в воде.[7].

Основные свойства ионизационной камеры Markus:

- плоско-параллельная камера для измерения высокоэнергетического излучения электронов в воде и твердотельном фантоме;

- чувствительный объем 0,055 см³;
- тонкое входное окно для использования в твердотельном фантоме;
- камера водонепроницаема при использовании защитного колпачка.

2.3. Дозиметрическая пленка GafChromic EBТЗ

Дозиметрическая пленка GafChromic EBТЗ предназначена для измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения и составления дозиметрических карт источников излучений [8]. Под воздействием ионизирующего излучения в пленочных дозиметрах GafChromic EBТЗ запускается реакция полимеризации. Глубина изменения цвета пленки (оптическая плотность) будет зависеть от поглощенной дозы.

Дозиметрические пленки GafChromic EBТЗ производится путем ламинирования активного слоя между двумя слоями полиэстера. Полиэфирные поверхности делают данную пленку исключительно надежной и позволяют погружать ее в воду [8].

Помимо всего, они могут использоваться с различными устройствами, включая просвечивающие денситометры, пленочные сканеры, спектрометры. Но предпочтительнее всего – цветной RGB сканер.

Технические преимущества:

- поддержка основных радиотерапевтических технологий;
- широкий диапазон измерения поглощенной дозы: от 0,01 до 40 Гр;
- большая площадь измерения;
- быстрая стабилизация;
- энергонезависимость отклика от дозы;
- сниженный эффект рассеянного излучения;
- близость к тканеэквивалентному материалу;
- высокое пространственное разрешение;
- устойчивость к высоким температурам, вплоть до 70 °С;
- простота использования благодаря симметричности;

Отсюда следует, что при проведении дозиметрического анализа необходимо иметь представления о зависимости оптической плотности дозиметрической пленки от поглощенной дозы. Соответственно, очевидным становится проведение мероприятий, связанных с калиброванием дозиметрических пленок.

2.4. Клинический дозиметр UNIDOS E

Высококачественный универсальный дозиметр, предназначенный для применения в лучевой терапии и диагностической радиологии (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Клинический дозиметр UNIDOS E [9]

Основные свойства:

- универсальность в использовании, как в радиотерапии, так и рентгенодиагностике;
- высокая точность;
- высокая разрешающая способность;
- широкий динамический диапазон измерений;
- возможность одновременного измерения интегральной дозы и мощности дозы [9].

Может совместно использоваться с ионизационными камерами и твердотельными детекторами. Имеет помимо всего возможность сохранять калибровочные данные.

Корректировка по плотности воздуха осуществляется посредством ввода значений атмосферного давления, температуры окружающего воздуха непосредственно с клавиатуры устройства [9].

2.5. Твердотельный тканеэквивалентный фантом RW3

RW3 Slab Phantom (Рисунок 6) представляет собой твердотельный тканеэквивалентный фантом, состоящий из пластин, предназначенных для контроля качества абсолютных и относительных измерений дозы фотонных и электронных пучков. Фантом представляет собой набор из одной пластины толщиной 1 мм, двух пластин по 2 мм, одной пластины 5 мм и двадцати девяти пластин толщиной 10 мм [10]. Внешний вид фантома представлен на Рисунке 5.



Рисунок 5 – Тканеэквивалентный твердотельный фантом RW3 Slab Phantom [10]

Основные технические характеристики твердотельного тканеэквивалентного фантома RW3 Slab Phantom представлены в Таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики фантома RW3 Slab Phantom

| | |
|--|--|
| Материал: | Водо-эквивалентный полистирол «RW3» |
| Диапазон энергий: | Электроны: 4–25 МэВ |
| Состав: | Полистирол (C ₈ H ₈) содержащий примесь 2,1% ± 0,2 % TiO ₂ . |
| Плотность: | 1,045 г/см ³ |
| Отношение (Z/A) _r : | 0,536 |
| Электронная плотность, (e ⁻ /гр): | 3,386 × 10 ²³ |
| Концентрация электронов, (e ⁻ /см ³): | 3,539 × 10 ²³ |
| Размеры пластины: | 300 × 300 мм ± 0,1мм |
| Толщина: | 1мм ± 0,05 мм 2мм ± 0,05 мм 5мм ± 0,05 мм 10мм ± 0,05 мм |
| Толщина пластины адаптера: | 20мм ± 0,05 мм |

Водоэквивалентный материал RW3 представляет собой белый полистирол, содержащий 2,1% оксида титана (TiO_2). Абсорбционная способность RW3 очень близка к абсорбционной способности природной воды.

Полистирол представляет собой термопластичный материал, имеющий высокую твердость, и обладающий диэлектрическими свойствами. Помимо всего имеет такие свойства, как химическая стойкость к щелочам и кислотам, радиоустойчивость.

2.6. Программное обеспечение FilmQA Pro

В данной работе для обработок дозиметрических пленок GafChromic EBТ3 использовалось программное обеспечение FilmQA Pro. Данное программное обеспечение представляет собой сложный инструмент количественного анализа, который специально разработан для упрощения и оптимизации проверки качества лучевой терапии.

FilmQA Pro позволяет производить калибровку, как во время сканирования дозиметрических пленок, так и оцифрованных изображений. Помимо всего, также можно производить расчет дозиметрических карт. Разрабатывать и сравнивать планы лечения. Проводить оценку глубинных распределений, при этом можно получать трехмерные модели распределения дозы.

Также FilmQA Pro имеет функцию устранять или уменьшает артефакты пленки и сканера, обнаруживая при этом происходят ли ошибки при сканировании [11].

Несомненным преимуществом программного обеспечения FilmQA Pro является его высокая скорость обработки дозиметрических пленок [11].

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [14].

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе проводилось исследование возможности применения пластиковых компенсаторов для формирования дозных полей электронных пучков заданной конфигурации. Формирование дозных полей ионизирующего излучения необходимо в области применения интраоперационной лучевой терапии для лечения злокачественных новообразований.

Следовательно, в перспективе основными потребителями результатов данной работы будут медицинские организации, а также научно-исследовательские институты, занимающиеся научными исследованиями,

направленными на получение знаний в области онкологии, способствующих сохранению и укреплению здоровья человека, развитию здравоохранения и медицинской науки. Как выглядит сегментирование в случае данного метода, представлено в Таблице 7

Таблица 7 - Карта сегментирования рынка услуг

| | | Организации | |
|--------------------|---|-------------------------|--------------------------------------|
| | | Медицинские организации | Научно – исследовательские институты |
| Область применения | Лечение злокачественных новообразований. | | |
| | Формирование дозных полей электронных пучков для научных исследований | | |

Самое главное преимущество использования данного метода перед классическим применением стандартных коллиматоров в интраоперационной лучевой терапии состоит в экономии времени и материальных средств, а также точность изготовления формирующих пластиковых элементов не уступает стандартному набору коллиматоров.

4.2. Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в Таблице 8. Б – пластиковые компенсаторы для формирования дозных полей электронных пучков определенной формы, Б_{к1} – стандартный коллиматор, входящий в комплект бетатрона.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (12)$$

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

Из данного анализа можно судить о явном преимуществе использования пластиковых компенсаторов.

Таблица 8– Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | Конкурентоспособность | |
|---|--------------|-------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | | Б | Б _{к1} | К | К _{к1} |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | |
| 1. Возможность формировать поле заданной конфигурации | 0,22 | 5 | 3 | 1,1 | 0,66 |
| 2. Эффективность лечения | 0,2 | 5 | 3 | 1 | 0,6 |
| 3. Скорость изготовления коллимирующего устройства | 0,13 | 5 | 3 | 0,65 | 0,39 |
| 4. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 5 | 3 | 0,75 | 0,45 |
| 5. Индивидуальный подход к лечению | 0,1 | 5 | 2 | 0,5 | 0,2 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | |
| 1. Затраты на изготовление коллимирующего устройства | 0,1 | 5 | 2 | 0,5 | 0,2 |
| 2. Финансирование научной разработки | 0,1 | 3 | 4 | 0,3 | 0,4 |
| Итог: | 1 | - | - | 4,8 | 2,9 |

Как показал анализ, использование пластиковых компенсаторов наиболее конкурентоспособно, поскольку является наиболее удобным и простым в эксплуатации.

4.3. SWOT – анализ

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

SWOT – анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное

преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

В Таблице 9 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 9 – SWOT-анализ

| | | |
|---|--|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – С1. Увеличение эффективности лечения злокачественных новообразований; – С2. Новизна идеи научного исследования; – С3. Простота и удобство эксплуатации; – С4. Относительно невысокая стоимость. | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Сл1. Сложность внедрения нового метода лечения злокачественных новообразований и получения лицензии на осуществление данной медицинской деятельности; – Сл2. Продолжительность и затрудненность проведения ряда исследований. |
| <p>Возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – В1. Повышение интереса к разработке за счет возможности увеличения эффективности лечения злокачественных новообразований; – В2. Развитие радиационной медицины приведет к расширению данного рынка, что повысит интерес к данной методике. – В3. Уменьшение затрат для проведения экспериментов. – В4 Увеличение числа рабочих мест в области данных исследований, появление новых специалистов в данной отрасли. | <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет удобства использования и простоты создания пластиковых фильтров возможности выхода на новые рынки. 2. Создание аналогичных методик для дальнейшего использования в области медицинских и научных исследований | <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие большого числа заказов на проведение исследований. 2. Приоритет конкурентных организаций из-за длительного срока исследований. |
| <p>Угрозы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – У1. Отсутствие коммерческого интереса к проекту; – У2. Не востребованность на рынке, в силу излишней консервативности потенциальных клиентов; – У3. Высокая конкуренция на рынке | <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение конкурентоспособности за счет низкой стоимости материалов на рынке; 2. Использование совокупности удобства использования и невысокой цены приведут к повышению конкурентоспособности на рынке данных товаров. 3. Снижение расходов на экспериментальные материалы за счет расширения границ применимости. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Привлекать капитал со стороны частных медицинских учреждений; 2. Написание статей и выступления на конференциях для привлечения заинтересованных сторон и увеличение информированности о данном методе. |

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности [14].

4.4. Планирование НИИ

Научно – техническое исследование (НИИ) – это работа научного характера, связанная с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции, она включает в себя:

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

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

3. прикладные исследования, направленные на решение научных проблем, совершенствование методов с целью получения конкретных результатов, используемых в опытно-конструкторских разработках при создании научно-технической.

4.4.1. Структура работ в рамках НИИ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому

виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в Таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № работ | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|---------|--|--|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель |
| Выбор направления исследования | 2 | Выбор направления исследования | Руководитель |
| | 3 | Календарное планирование | Руководитель Студент |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 4 | Обзор литературных источников и технической литературы | Студент |
| | 5 | Изготовление пластикового компенсатора | Руководитель Студент |
| | 6 | Проведение экспериментальных исследований | Руководитель Консультант Студент |
| Обобщение и оценка результатов | 7 | Обработка данных. Анализ полученных результатов. | Студент |
| | 8 | Определение целесообразности проведения НИР | Руководитель Студент |
| Оформление отчёта | 9 | Составление пояснительной записки | Студент |
| | 10 | Подготовка к защите | Руководитель Студент |

4.4.2. Определение трудоемкости выполнения НИИ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко – днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула [14]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (13)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [14].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (14)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел. [14].

4.4.3. Разработка графика проведения НТИ

В ходе данной работы был построен ленточный график проведения НТИ в форме диаграмм Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (15)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, (кален.дн.); T_{pi} – продолжительность одной работы, (раб.дн.); k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Расчёт коэффициента календарности производится по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (16)$$

где, $T_{кг}$ – количество календарных дней в году ($T_{кг} = 365$ дн.); $T_{вд}$ – количество выходных дней в году ($T_{вд} = 52$ дн.); $T_{пд}$ – количество праздничных дней в году, ($T_{пд} = 14$ дн.).

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округлены до целого числа.

$$k = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Все рассчитанные значения сведены в Таблицу 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения НТИ

| № работ | Трудоёмкость работ | | | Исполнители | Длительность работ T_{pi} , дн. | Длительность работ T_{ki} , дн. |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | t_{min} , чел-дни | t_{max} , чел-дни | $t_{оэи}$, чел-дни | | | |
| 1 | 1 | 5 | 2,6 | Руководитель | 2,6 | 4 |
| 2 | 3 | 5 | 3,8 | Руководитель | 3,8 | 5 |
| 3 | 3 | 5 | 3,8 | Руководитель Студент | 1,9 1,9 | 2 2 |
| 4 | 13 | 17 | 14,6 | Студент | 14,6 | 16 |
| 5 | 2 | 5 | 3,2 | Руководитель Студент | 1,6 1,6 | 2 2 |
| 6 | 10 | 25 | 16 | Руководитель Консультант Студент | 5,3 5,3 5,3 | 7 7 7 |
| 7 | 10 | 20 | 14 | Студент | 14 | 17 |
| 8 | 3 | 5 | 3,8 | Руководитель Студент | 1,9 1,9 | 2 2 |
| 9 | 10 | 20 | 14 | Студент | 14 | 17 |
| 10 | 3 | 5 | 3,8 | Руководитель Студент | 1,6 1,6 | 2 2 |
| Итого: | 58 | 112 | 79,6 | - | 18,7/5,3/54,9 | 24/7/65 |

На основе таблицы 11 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках НИР на основе приложения А с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различными цветами в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

4.4.4. Бюджет научно – технического исследования

При планировании бюджета научно – технического исследования (НТИ) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материалы;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды.
- затраты на амортизационные отчисления.
- накладные расходы.

4.4.5. Расчет материальных расходов

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в Таблице 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

| Наименование | Марка, размер | Количество | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб |
|---|---------------|------------|-----------------------|------------|
| Бумага | SvetoCopy | 1 пачка | 210 | 210 |
| Печать на листе А4 | – | 80 | 2 | 160 |
| Ручка | Pilot | 1 | 70 | 70 |
| Доступ в интернет | – | 4 месяца | 350 | 1 400 |
| Печать формирующего элемента из пластика на 3d – принтере | – | 1 | 200 | 200 |
| Всего за материалы | | | | 2 040 |
| Транспортно-заготовительные расходы | | | | 0 |
| Итого: | | | | 2 040 |

4.4.6. Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данной теме.

Для данной работы оборудование специально не покупалось, следовательно, необходимо провести расчет амортизации использованного оборудования. Ежегодную сумму амортизационных отчислений рассчитывают следующим образом:

$$A = \frac{C_{\text{перв}} * N_a}{100}, \quad (17)$$

где A – ежегодная сумма амортизационных отчислений;

$C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость объекта;

$N_a = \frac{100}{T_{\text{сл}}}$ – норма амортизационных отчислений, где $T_{\text{сл}}$ – срок службы.

Амортизация малогабаритного бетатрона МИБ – 6Э на время проведения экспериментальной части рассчитываются следующим образом:

$$C_{\text{аморт}} = (10\,000\,000 / (10 * 251)) = 3\,984 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 16 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 3\,984 * 16 = 63\,745 \text{ руб.} \approx 64 \text{ тыс. руб}$$

Аналогично, расчет суммы амортизации производился для остального оборудования.

Все расчеты по приобретению оборудования, имеющегося в организации, но используемого для исполнения данных экспериментов, сводятся в Таблицу 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

| № | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Общая стоимость оборудования, тыс.руб. | Срок службы, лет | Кол-во дней использования оборудования, дн. | Сумма амортизации, за время проекта, тыс. руб. |
|---------------|--|----------------------------|--|------------------|---|--|
| 1. | Малогобаритный бетатрон с выведенным пучком электронов МИБ - 6Э | 1 | 10 000 | 10 | 16 | 64 |
| 2. | Ионизационная камера Model N 23343 Markus Plane-Parallel ion chamber | 1 | 800 | 8 | 16 | 6,4 |
| 3. | Клинический дозиметр UNIDOS E | 1 | 900 | 6 | 16 | 9,6 |
| 5. | Твердотельный тканеэквивалентный фантом RW3 Slab Phantom | 1 | 800 | 10 | 16 | 5,1 |
| Итого: | | | 12 500 | 34 | 64 | 85,1 |

4.4.7. Основная заработная плата исполнителей

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (18)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{р}}, \quad (19)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m * M}{F_d}, \quad (20)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени представлен в Таблице 14.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_d) * k_p, \quad (21)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчет основной заработной платы сводится в Таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | Оклад | $k_{\text{пр}}$ | k_d | k_p | Z_m , руб | $Z_{\text{дн}}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{\text{осн}}$, руб. |
|-------------|-------|-----------------|-------|-------|-------------|------------------------|------------------|-------------------------|
|-------------|-------|-----------------|-------|-------|-------------|------------------------|------------------|-------------------------|

| | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|-----|-----|--------|-------|----|---------------|
| Руководитель | 33664 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 70 021 | 2 901 | 19 | 55 124 |
| Консультант | 14 584 | - | - | 1,3 | 18 960 | 786 | 5 | 3 930 |
| Студент | 9 893 | - | - | 1,3 | 12 861 | 533 | 55 | 29 315 |
| Итого: | | | | | | | | 88 369 |

4.4.8. Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.) [14].

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}, \quad (22)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,12$);

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В Таблице 16 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 16– Заработная плата исполнителей НИР

| Заработная плата | Руководитель | Консультант | Студент |
|------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Основная зарплата, руб/мес. | 55 124 | 3 930 | 29 315 |
| Дополнительная зарплата, руб | 6 615 | 472 | 3 518 |
| Итого: | 61 739 | 4 402 | 32 833 |

4.4.9. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников [14].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (23)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% [14].

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (Таблица 17).

Таблица 17– Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель | 55 124 | 6 615 |
| Консультант | 3 930 | 472 |
| Студент | 29 315 | 3 518 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 0,271 | |
| Итого: 26 822 | | |

4.4.10. Накладные расходы

Время, проведенное за работой: $60*6=360$ часов. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} * F_{\text{об}} * P, \quad (24)$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Рассчитанные затраты на электроэнергию приведены в Таблице 18.

Таблица 18 – Затраты на электроэнергию

| Наименование | Время работы, ч | Мощность потребления электроэнергии, кВт | Цена за 1 кВт, руб. | Затраты на электроэнергию (З), руб. |
|---|-----------------|--|---------------------|-------------------------------------|
| 1. Малогабаритный бетатрон с выведенным пучком электронов МИБ - 6Э | 10 | 2,5 | 5,8 | 145 |
| 2. Ионизационная камера Model N 23343 Markus Plane-Parallel ion chamber | 10 | 0,004 | | 0,23 |
| 3. Клинический дозиметр UNIDOS E | 10 | 0,004 | | 0,23 |
| 5. ПЭВМ | 330 | 0,1 | | 191,4 |
| Итого: | | | | 336,9 |

4.4.11. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в Таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. |
|---|----------------|
| 1. Затраты на спецоборудование | 85 100 |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 88 369 |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 10 605 |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды | 26 822 |
| 5. Накладные расходы | 336,9 |
| 6. Материальные затраты НИИ | 2 040 |
| Бюджет затрат НИИ | 213 273 |

4.5. 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:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (25)$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как разработка имеет одно исполнение, то:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{200}{200} = 1$$

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:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i * b_i, \quad (26)$$

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (Таблица 20).

Таблица 20– Оценка характеристик исполнения проекта

| Объект исследования Критерии | Весовой коэффициент параметра | Оценка |
|---|-------------------------------|--------|
| 1. Трудоемкость изготовления | 0,3 | 5 |
| 2. Временные затраты, затраченные на изготовление пластиковых компенсаторов | 0,2 | 5 |
| 3. Затраты энергии на реализацию процессов при данной технологии | 0,2 | 4 |
| 4. Размер потребленных средств производства | 0,3 | 5 |
| Итог: | 1 | |

$$I_p = 5 * 0,3 + 5 * 0,2 + 4 * 0,2 + 5 * 0,3 = 4,8$$

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

$$I_{испi} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}^{испi}}, \quad (27)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (Таблица 21) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}, \quad (28)$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

| № | Показатели | Исп. 1 |
|----|---|--------|
| 1. | Интегральный финансовый показатель разработки | 1 |
| 2. | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,8 |
| 3. | Интегральный показатель эффективности | 0,21 |

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.

5. Социальная ответственность

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

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [15].

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

Опасным производственным фактором, согласно [15], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В Таблице 22 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 22 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

| Наименование видов работ и параметров производственного процесса | ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ | | Нормативные документы |
|--|--|-----------------------|--|
| | Вредные | Опасные | |
| Работа на персональном компьютере | – | Электрический ток | ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. |
| | Шум, вибрация, электромагнитное | – | СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы». |
| | – | Пожарная безопасность | ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. |
| Работа с источниками ионизирующего излучения | Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне | – | СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». |

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические [15].

На инженера, работа которого связана с моделированием на компьютере и работой с источниками ионизирующего излучения, воздействуют следующие факторы:

1. физические:
 - температура и влажность воздуха;
 - шум;
 - статическое электричество;
 - электромагнитное поле низкой частоты;
 - освещённость;

- наличие излучения;
- 2. психофизиологические:
 - физические перегрузки (статические, динамические);
 - нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на ПК и источниками ИИ

5.2.1. Организационные мероприятия

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

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

5.2.2. Организация рабочего места оператора ПК

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, показанного на Рисунке 16.

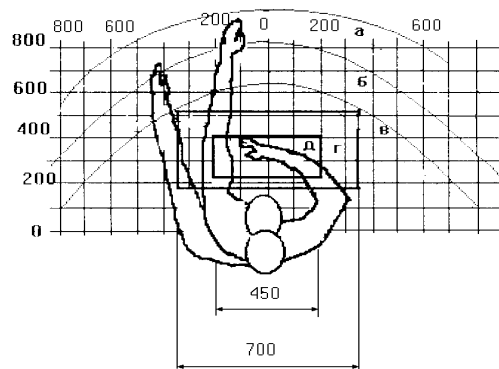


Рисунок 20– Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в– зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы [16]

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

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

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину

поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

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

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

5.2.3. Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со [15] и приведены в Таблице 23.

Таблица 23 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

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

такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Однако последние достижения науки в области производства мониторов позволяют значительно снизить уровень излучения. Использование современных ЭЛТ – мониторов и ЖК – мониторов, соответствующих стандарту ТСО – 2003, гарантирует минимальные значения напряженности электромагнитных полей вблизи экранов (менее 10 В/м в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц и менее 1 В/м в диапазоне частот 2 – 400 кГц). Используемый для моделирования на ПК ЖК – монитор LG также соответствует стандарту ТСО – 2003.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное

воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

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

5.3. Радиационная безопасность

5.3.1. Основы радиационной безопасности

Главная цель радиационной безопасности – охрана здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

В результате воздействия ионизирующих излучений на организм человека нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми. Любой вид ионизирующего излучения вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении, когда источник облучения находится вне организма, так и при внутреннем облучении, когда радиоактивные вещества попадают внутрь организма.

Если говорить об ионизирующем излучении и его воздействии на организм человека, нужно иметь представление о дозе, которую получает человек.

При дозах, характерных для проведенной радиационной защиты, возможны для вида эффекты лучевого поражения: соматические (телесные), возникающие в самом облученном организме, и генетические

(наследственные), проявляющиеся у потомков в виде различных генетических заболеваний.

Детерминированные (пороговые, соматические) эффекты – это те, которые проявляются непосредственно в организме и тканях облученного организма и являются клинически выявляемыми. Детерминированные эффекты сопровождаются гибелью большого числа соматических клеток (клеток органов и тканей) под действием больших доз излучения. Эти эффекты развиваются как в период лучевого поражения, так и на протяжении нескольких недель после облучения.

К детерминированным эффектам относятся: головная боль, тошнота, рвота, диарея, острая и хроническая лучевая болезнь, локальные поражения органов и тканей. Эти эффекты считаются нестохастическими. Их связь с дозой однозначна и они проявляются, начиная с некоторого порога (минимальной дозы). Ниже порогового значения соматические эффекты отсутствуют. Тяжесть проявления пороговых эффектов возрастает с увеличением дозы.

Стохастические (генетические) эффекты – это вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения и клинически не выявляемые. К таким эффектам относят онкологические заболевания и наследуемые заболевания. Стохастические эффекты облучения проявляются спустя много лет после облучения в виде возникновения различных злокачественных новообразований и в виде нарушения функционирования некоторых жизненно важных систем организма: сердечно – сосудистой, нервной, иммунной.

Для стохастических эффектов связь с дозой носит вероятностный характер. Облучение вызывает увеличение вероятности возникновения таких заболеваний, которые случайно возникают даже при небольшом уровне облучения, например, естественное фоновое облучение.

Главным документом по радиационной безопасности при организации работ с источниками ионизирующих излучений является «Основные

санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений».

Для обеспечения безопасности существуют допустимые уровни доз, которые может получить человек. Уровни разделяются в соответствии с категорией по нормам радиационной безопасности.

Персонал (группа А) – лица, работающие с техногенными источниками, ионизирующими излучением, или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). Население – все лица, включая персонал вне работы. Основные пределы доз приведены в Таблице 24 [18].

Таблица 24 – Пределы допустимых 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 за год: | | |
| в хрусталике | 150мЗв | 15мЗв |
| в коже | 500мЗв | 50мЗв |
| в кистях и стопах | 500мЗв | 50мЗв |

Пределы доз и допустимые уровни для персонала группы Б равны 1/4 от группы А.

Основные пределы доз не включают в себя дозы:

- от природных источников;
- от медицинских источников;
- от радиационных аварий.

Студент, во время выполнения работ с источниками ионизирующего излучения относится к персоналу группы Б.

Для каждой категории облучаемых лиц допустимые уровни устанавливаются так, чтобы при данном уровне воздействия в течение года величина дозы в год не превосходила соответствующий предел дозы (Таблица 24).

Для этого проводят дозиметрический контроль персонала, работающего с ИИ.

5.3.2. Индивидуальный дозиметрический контроль персонала

Контроль индивидуальных доз профессионального облучения проводится на соответствие их нормируемым величинам, указанным в Таблице 24.

При контроле профессионального облучения применяют:

- для персонала группы А – индивидуальный дозиметрический контроль (далее – ИДК), заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работника на основании результатов измерений облучения тела или отдельных органов каждого работника с помощью индивидуальных дозиметров, носимых на поверхности тела в течение периода контроля;

- для персонала группы Б – как правило, групповой дозиметрический контроль (далее – ГДК), заключающийся в определении индивидуальных доз облучения работников расчетным путем на основании результатов измерений мощностей доз излучения в рабочем помещении (на рабочих местах) с учетом времени пребывания персонала в рабочем помещении (на рабочем месте) [19].

Определение индивидуальных годовых эффективных доз является задачей интерпретации результатов измерений, выполняемых при проведении ГДК или ИДК в течение периода контроля [19].

Для целей контроля профессионального облучения период контроля определяется как промежуток времени:

- между последовательными измерениями характеристик радиационной обстановки в рабочем помещении (на рабочих местах) при проведении ГДК;

- между последовательными измерениями индивидуальных доз облучения работника при проведении ИДК.

Рекомендуется следующая периодичность контроля:

- измерение мощностей доз на рабочих местах проводить 1 раз в год;
- индивидуальный дозиметрический контроль персонала – ежеквартально;
- индивидуальный дозиметрический контроль женщин в возрасте до 45 лет – ежеквартально, а в случае выявления беременности и принятия женщиной решения о сохранении беременности, женщина переводится на работу, не связанную с ИИИ, контроль прерывается, а дозиметры направляются на измерение.

5.3.3. Работа с ускорителями электронов

В зависимости от энергии ускоренных электронов ускорители электронов подразделяются на две группы:

I группа – ускорители с максимальной энергией ускоренных электронов не более 10 МэВ. При такой энергии электронов фотоядерные реакции возможны лишь с отдельными изотопами и наведенная активность окружающей среды практически не представляет опасности для здоровья людей.

II группа – ускорители с максимальной энергией ускоренных электронов более 10 МэВ, но не более 100 МэВ. В этом случае фотоядерные реакции возможны с большинством изотопов и неизбежна активация элементов конструкции ускорителя и воздуха при работе ускорителя [20].

Радиационные объекты с ускорителями электронов, энергия которых не превышает 10 МэВ, или с медицинскими ускорителями электронов, энергия которых не превышает 25 МэВ, следует относить к IV категории потенциальной радиационной опасности, а с ускорителями электронов большей энергии – к III категории [20].

В данной работе проводились эксперименты на малогабаритном бетатроне с выведенным электронным пучком МИБ – 6Э, который относится к I группе.

При работе ускорителя основными факторами радиационной опасности являются:

- выведенный из ускорителя пучок ускоренных электронов;
- тормозное излучение, возникающее при взаимодействии ускоренных электронов с мишенью, элементами ускорителя, а также конструкционными и другими материалами в рабочей камере (процедурной);
- другие виды ионизирующего излучения, возникающего при взаимодействии электронов и тормозного излучения с ядрами веществ окружающей среды;
- неиспользуемое рентгеновское излучение от высоковольтной электронной аппаратуры ускорителя [20].

Размещение стационарных ускорителей и радиационных установок с ускорителем электронов (далее РУ УЭЛ) должно производиться в соответствии с проектом, имеющим санитарно – эпидемиологическое заключение организации федеральных органов исполнительной власти, уполномоченной осуществлять государственный санитарно – эпидемиологический надзор за эксплуатирующей организацией [20].

Запрещается размещение ускорителей и РУ УЭЛ в жилых зданиях и детских учреждениях.

РУ УЭЛ с ускорителями I группы могут располагаться:

- РУ УЭЛ с индивидуальной защитой – в производственном помещении или на промышленной площадке;
- стационарные РУ УЭЛ – в специальном помещении, обеспечивающем радиационную безопасность при работе с ними;
- передвижные РУ УЭЛ – на транспортном средстве, в производственном помещении или на промышленной площадке при обеспечении требований радиационной безопасности при работе с ними;
- РУ УЭЛ в отдельном здании, отдельном крыле здания или пристройке [20].

При этом во всех случаях радиационная защита ускорителя или РУ УЭЛ должна обеспечивать выполнение требований НРБ – 99/2009.

В учреждении, где ускоритель используется в стационарных условиях, должны быть предусмотрены следующие помещения:

- рабочая камера, соответствующая требованиям технической документации на ускоритель или РУ УЭЛ и обеспечивающая возможность безопасного проведения работ;

- процедурная для ускорителей медицинского назначения, соответствующая требованиям технической документации на ускоритель, площадью не менее 40 м²;

- пультовая, соответствующая требованиям технической документации на ускоритель, площадью не менее 15 м²;

- вспомогательные помещения, необходимые для обеспечения работы ускорителя и осуществления технологического процесса, состав, размер и оборудование которых определяются характером проводимых на ускорителе работ и требованиями технической документации на ускоритель [20].

Радиационная защита ускорителя должна изготавливаться из материалов, наиболее эффективно ослабляющих первичное электронное или тормозное излучение, обеспечивающих наименьший выход вторичного излучения (тормозного, нейтронного) и эффективное их ослабление [20].

5.4. Электробезопасность

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

различными электроприборами. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

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

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

5.5. Пожарная безопасность

Согласно [19], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;

- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на:

- организационные;
- технические;
- эксплуатационные;
- режимные.

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

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы была проведена калибровка пленочных дозиметров GafChromic EBТЗ на ускорителе электронов ONCOR Impression Plus (Московская городская онкологическая больница №62) и интраоперационном бетатроне МИБ-6Э (НИИ онкологии Томского НИМЦ). При проведении сравнительного анализа полученных результатов, было показано, что калибровочные кривые находятся в хорошем согласии. В дальнейшей работе калибровочные данные использовались для обработки результатов, полученных при помощи пленочных дозиметров.

На следующем этапе работы была проведена оценка поля облучения открытого электронного пучка бетатрона при помощи пленочных дозиметров GafChromic EBТЗ. Данные были оцифрованы и обработаны в программном обеспечении FilmQA Pro. Были получены поперечный профиль пучка и глубинное распределение дозы электронов в тканеэквивалентном твердотельном фантоме.

Были подобраны форма и размеры полимерного компенсатора на основе реального клинического случая. Для этого были получены глубинные распределение дозы электронов в HIPS-пластике, а также использованы данные системы дозиметрического планирования. Был изготовлен формирующий элемент из HIPS-пластика с помощью устройства трехмерной печати UP! Plus 2.

Был проведен эксперимент по формированию дозного поля электронного пучка бетатрона с помощью полимерного компенсатора. Были получены поперечный профиль сформированного пучка и глубинное распределение дозы электронов. Было проведено сравнение полученных результатов открытого и сформированного пучка.

Оценена финансовая составляющая работа и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Была показана работоспособность предложенного способа формирования полей электронных пучков с помощью пластиковых компенсаторов, изготовленных посредством использования аддитивных технологий.

Список использованной литературы

1. Завьялов АА, Мусабаева ЛИ, Лисин ВА, Чойнзонов ЕЛ, Новиков ВА, Коломиец ЛА, Тузиков СА, Афанасьев СГ, Дубский СВ, Анисеня ИИ, Тюкалов ЮИ, Миллер СВ, Добродеев АЮ, Чивчиш ЛН, Нечитайло МН, Жеравин АА. Пятнадцатилетний опыт применения интраоперационной лучевой терапии. Сибирский онкологический журнал. 2004;2-3:75-84.
2. Красных АА, Милойчикова ИА, Стучебров СГ. Анализ характера взаимодействия электронных пучков с модифицированным АБС-пластиком. Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. 2017;6(2):108-112. doi: 10.1134/S2304487X17020080
3. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие / В. И. Беспалов. – 4-е изд. - Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2008. - 369 с
4. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Избранные лекции по клинической онкологии. / Под ред. акад. РАМН В. И. Чиссова, проф. С. Л. Дарьяловой. М., 2000. - 736 с.
6. Бетатроны/ В.А. Москалев, В.Л. Чахлов. Томский политехнический университет. – Томск: издательство Томского политехнического университета, 2009г. – 267 с.
7. Ионизационная камера Model N 23343 Markus Plane-Parallel ion chamber [Электронный ресурс]. [дата обращения: 05.02.2018]. Режим доступа: http://www.teambest.com/CNMC_docs/radPhysics/parallel/CNMC_N34045.pdf
8. Радиографическая пленка GafChromic EBТ3 [Электронный ресурс]. [дата обращения: 05.02.2018] Режим доступа: http://www.GafChromic.com/documents/EBТ3_Specifications.pdf

9. Клинический дозиметр UNIDOS E [Электронный ресурс]. [дата обращения: 07.02.2018] Режим доступа: http://www.cpce.ru/tools/leaflet/unidos_e.pdf
10. Твердотельный тканеэквивалентный фантом RW3 Slab Phantom [Электронный ресурс]. [дата обращения: 07.02.2018] Режим доступа: <http://epsilonelektronik.com/wpcontent/uploads/2015/05/Slab-Phantom-Datasheet.pdf>
11. Программное обеспечение «FilmQA Pro» [Электронный ресурс]. [дата обращения: 10.02.2018] Режим доступа: <http://www.GafChromic.com/filmqa-software/filmqapro/index.asp>
12. Epson Perfection V750. [Электронный ресурс]. [дата обращения: 10.02.2018] Режим доступа: <http://www.epson.ru/catalog/scanners/epson-perfection-v750-pro/>.
13. Устройство быстрого прототипирования «UP! Plus 2» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.up3d.com/up-plus-2/>.
14. 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.
15. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
16. ГОСТ 12.0.002-80. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
17. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. - М.: Энергоатомиздат, 1995-496 с.

18. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. - 83 с.

19. МУ 2.6.1.3015—12. Организация и проведение индивидуального дозиметриче-ского контроля. Персонал медицинских организаций: Методические указания.—М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.—24 с.

20. СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». // www.rospotrebnadzor.ru.

21. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. 31 окт. 1995 г.

Приложение А

Таблица А – Календарный график-план НИОКР

| № Работы | Исполнитель | Т _{кис} ,дн. | февраль | | | март | | | апрель | | | май | | |
|-------------|--------------|-----------------------|---------|--------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | | | 1 | Руководитель | 4 | | | | | | | | | |
| 2 | Руководитель | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | Студент | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Студент | 16 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | Студент | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Руководитель | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | Консультант | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | Студент | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Студент | 14 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | Студент | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Студент | 17 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | Студент | 2 | | | | | | | | | | | | |

где – Руководитель, – Студент, – Консультант.