

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<small>Тема работы</small>
СОЗДАНИЕ ОБЪЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

УДК 620.179.152.1:573.1:004.925.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5A	Исмаилова Акылай Анарбековна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И.В.	к.э.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.		

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ 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.
Профессиональные компетенции	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.

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

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) – 14.03.02. Ядерная 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)
21.01.2019	Составление и утверждение технического задания	2
31.01.2019	Подбор и изучение материалов по теме	4
15.02.2019	Выбор направления исследования	2
28.02.2018	Проведение экспериментов	16
30.03.2018	Анализ и описание результатов	12
25.05.2018	Подготовка к защите ВКР	4

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	к. т. н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А5А	Исмаиловой Акылай Анарбековны

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, информационно-коммуникационных и человеческих</i>	Затраты на амортизацию оборудования и эл./энергию 2 040,84 руб. Основная заработная плата исполнителей темы 19 735 руб. Дополнительная заработная плата исполнителей темы 2 960 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 5 954,13 руб. Накладные расходы 36 312 руб. Материальные затраты 6 940 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Районный коэффициент города Томска -1,3
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 28%.

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

Перечень графического материала(с точным указанием чертежей):

--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН	Подопригора И.В.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5А	Исмаилова Акылай Анарбековна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0А5А	ФИО Исмаиловой Акылай Анарбековне
----------------	--------------------------------------

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»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. источники, 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
0А5А	Исмаилова Акылай Анарбековна		

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе описаны следующие термины с соответствующими определениями:

лучевая терапия: метод лечения опухоли ионизирующим излучением.

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.

CAD-модель: цифровая модель объекта исследования.

коэффициент заполнения: параметр печати, определяющий расстояние между центрами нитей в слое.

Используемые в работе обозначения и сокращения:

CAD - технологии автоматизированного проектирования (computer-aided design)

АП - аддитивное производство

БП - быстрого прототипирования

SBS –стирол бутадиен стирольный блок-сополимер

FDM – (FusedDepositionModeling) процесс послойного наложения расплавленной полимерной нити

PLA – ударопрочный биоразлагаемый полистирол;

3D – трехмерный;

ИИ – ионизирующее излучение;

MPT - магнитно-резонансная томография;

КТ - компьютерная томография.

HU – (Hounsfield`s unit) индексы Хаунсфилда

Оглавление

Введение.....	14
1 Литературный обзор	16
1.1 Фантомы в медицине	16
1.2 Индексы Хаунсфилда	18
1.3 Компьютерное моделирование.....	21
1.4 Технологии быстрого прототипирования	22
1.4.1 Создание изделий методом послойного наплавления (FDM).....	23
1.4.2 Пластики, используемые для создания изделий методом послойного наплавления	24
1.5 Компьютерная томография.....	26
1.5.1 Принцип работы компьютерной томографии.....	26
1.5.2 Область применения компьютерной томографии.....	28
1.5.3 Преимущества компьютерной томографии	29
2. Материалы и методы	30
2.1 Программное обеспечение	30
2.2 Процесс создания трехмерных моделей биологических тканей.....	31
3. Экспериментальные исследования.....	38
3.1 Процесс печати 3D-моделей мышечной и костной тканей голени	38
3.2 Исследование пластиковых образцов, с заданными индексами Хаунсфилда.....	39
3.2.1 Используемое оборудование и материалы.....	39
3.2.2 Анализ данных	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
4.1 Предпроектный анализ.....	45
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	46
4.1.3 SWOT-анализ	49
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом	51
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	51

4.2.2 Контрольные события проекта.....	52
4.2.3 План проекта	52
4.3 Бюджет научно-технического исследования	56
4.3.1 Расчет материальных затрат	56
4.3.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ	58
4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования	59
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	62
4.3.5 Накладные расходы	63
4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	63
4.5 Определение ресурсной эффективности исследования.....	64
5. Социальная ответственность	66
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	66
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ.....	68
5.2.1 Организационные мероприятия	68
5.2.2 Технические мероприятия	69
5.2.3 Условия безопасной работы	71
5.3 Радиационная безопасность.....	73
5.3.1 Основные принципы радиационной безопасности	73
5.3.2 Работа с Компьютерным томографом	75
5.4 Электробезопасность.....	76
5.5 Пожарная безопасность.....	79
Заключение	81
Список публикаций студента.....	84
Список используемых источников.....	85

1 Литературный обзор

1.1 Фантомы в медицине

Данная выпускная квалификационная работа описывает процесс создания объемных цифровых моделей или САD-моделей мягких тканей человека для дальнейшего изготовления индивидуальных дозиметрических фантомов, использующихся в лучевой терапии на этапе планирования и верификации протокола облучения, тканезквивалентными материалами. Поэтому будет целесообразно дать определение фантомам, описать существующие фантомы, а также осветить историю их происхождения.

Актуальность в появлении фантомов сформировалась по мере бурного развития устройств, в основе которых лежит использование ионизирующего излучения. Так открытое в 1895 г. немецким физиком Вильгельмом Конрадом Рентгеном рентгеновское излучение, послужило толчком в развитии различных областей человеческой деятельности, например, появились неразрушающие методы дефектоскопии, бурно развилась диагностика в медицине благодаря использованию КТ-аппаратов, принцип действия, которых заключалось в применении рентгеновского излучения, и многие другие примеры. Но наряду с положительными сторонами открытия ионизирующего излучения, появились и отрицательные стороны: было замечено и изучено абсолютно пагубное воздействие, которое оказывает ионизирующее излучение на биологический организм при взаимодействии с ним [9].

Возникла проблема в тестировании и калибровке устройств, принцип действия которых было использование ионизирующего излучения. Допустить такие технические процедуры на человеке неприемлемо, поэтому было предложено использовать объекты, способные полностью заменить человека, впоследствии такие объекты стали называться фантомами.

Ранние фантомы состояли из воска или воды, они, как и сейчас, были предназначены для измерения поглощенных доз излучения по всему объему объекта. Геометрия фантомов была довольно примитивной и представляла

собой восковые блоки и резервуары с водой, так как вода была и остается удачной аппроксимацией человеческих тканей. Пример раннего фантома конца 1950 и начала 1960 гг. представлен на рисунке 1.1

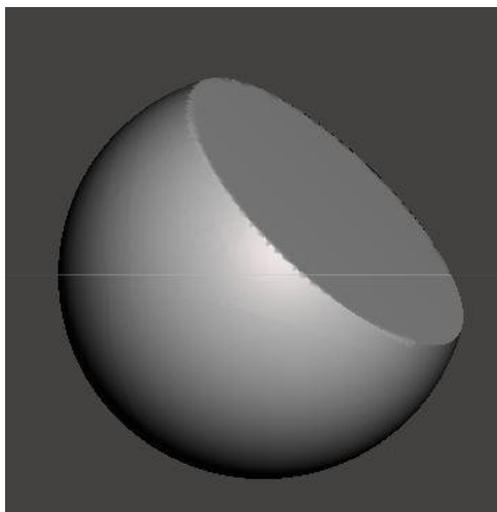


Рисунок 1.1 – Первые фантомы простой геометрической формы, применяющиеся в конце 1950 начале 1960 гг.

Но использование воска в качестве тканеэквивалентного материала доставляло множество проблем, главная из которых состояла в том, что воск был не постоянен в составе, из-за чего возникали сомнения в правильности измерений.

Уже намного позже возникла заинтересованность в создании геометрически реалистичных фантомов, появилось большое количество фантомов различной формы тела или сегментов тела. Пример таких фантомов представлен на рисунке 1.2. Но, по-прежнему, существовала проблема несоответствия материалов с естественной тканью человеческого организма [10].

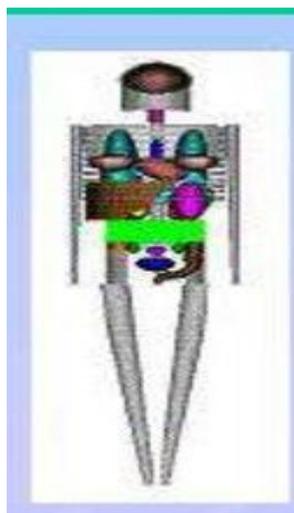


Рисунок 1.2 – Стилизованный фантом, конец 1980г.

Проблема с несоответствием материалов, из которых изготовлен фантом, и биологических тканей стала острее с появлением лучевой терапии, как метода лечения онкологических заболеваний. Фантомы стали применяться для верификации сложных протоколов облучения пациентов, что ужесточило требования к реалистичности данных, получаемых при измерении поглощенных доз по объему фантома, эти данные должны были точно совпадать с распределением поглощенных доз в теле пациента.

Для увеличения соответствия между материалами для фантома и биологическими данными ввели основную характеристику для всех материалов – индексы Хаунсфилда или рентгеновская плотность.

1.2 Индексы Хаунсфилда

Определяющим параметром рентгеновской плотности относительно ослабления в воде являются индексы Хаунсфилда. Именно этот параметр был исследован в данной работе. Применение данного параметра способствовало появлению таких принципиально новых методов лучевой диагностики, таких как Компьютерная томография (КТ), Магнитно-резонансная томография (МРТ), ангиография и сцинтиграфия. Данные виды диагностики предоставляли информацию в виде изображения, полученного в ходе поглощения объектами ионизирующего излучения, что подвигло разделить материалы по способности

поглощения. Так появилась идея внедрения параметра индекса Хаунсфилда. Впервые воспользовался методом определения плотности объектов, с использованием движущейся рентгеновской трубки, Вильям Ольдендорф [11]. А первое томографическое изображение получил Годфри Хаунсфилд [12], который и создал первый прототип КТ.

Как говорилось ранее, индексами Хаунсфилда называется степень поглощения рентгеновского излучения материалами. За 0 в шкале Хаунсфилда берется степень поглощения рентгеновского излучения в дистиллированной воде. Обычно на КТ значения индексов колеблются от минус 1024 до 1024. Показания со знаком минус – соответствуют воздуху и некоторым мягким тканям, знаку плюс – мягкие ткани, кости, кровь. Визуализация показаний КТ производится путем вывода изображения в черно-белом спектре. То есть показания со знаком плюс соответствует более светлый спектр, знаку минус темный спектр. Из этого следует, что кости имеют самый светлый спектр, а воздушные полости или легкие имеют самый темный спектр. Так, каждой ячейке матрицы соответствует рассчитываемый компьютером коэффициент поглощения рентгеновского излучения (индекс Хаунсфилда). Индекс Хаунсфилда по смыслу аналогичен степени почернения рентгенограммы. Кость поглощает рентгеновские лучи сильнее других тканей и имеет наибольший коэффициент поглощения (+800 – +3000 HU). При этом чем больше коэффициент поглощения ткани, тем сильнее она поглощает излучение, тем меньше фотонов излучения доходит до детектора томографа и тем более белой она выглядит на КТ: кость самая белая, воздух самый черный. Таким образом, различение нормальных и патологических образований на КТ производится по градациям перехода: от черного к белому цвету [13].

На рисунке 1.3 представлена шкала Хаунсфилда для различных органов и тканей человеческого организма.

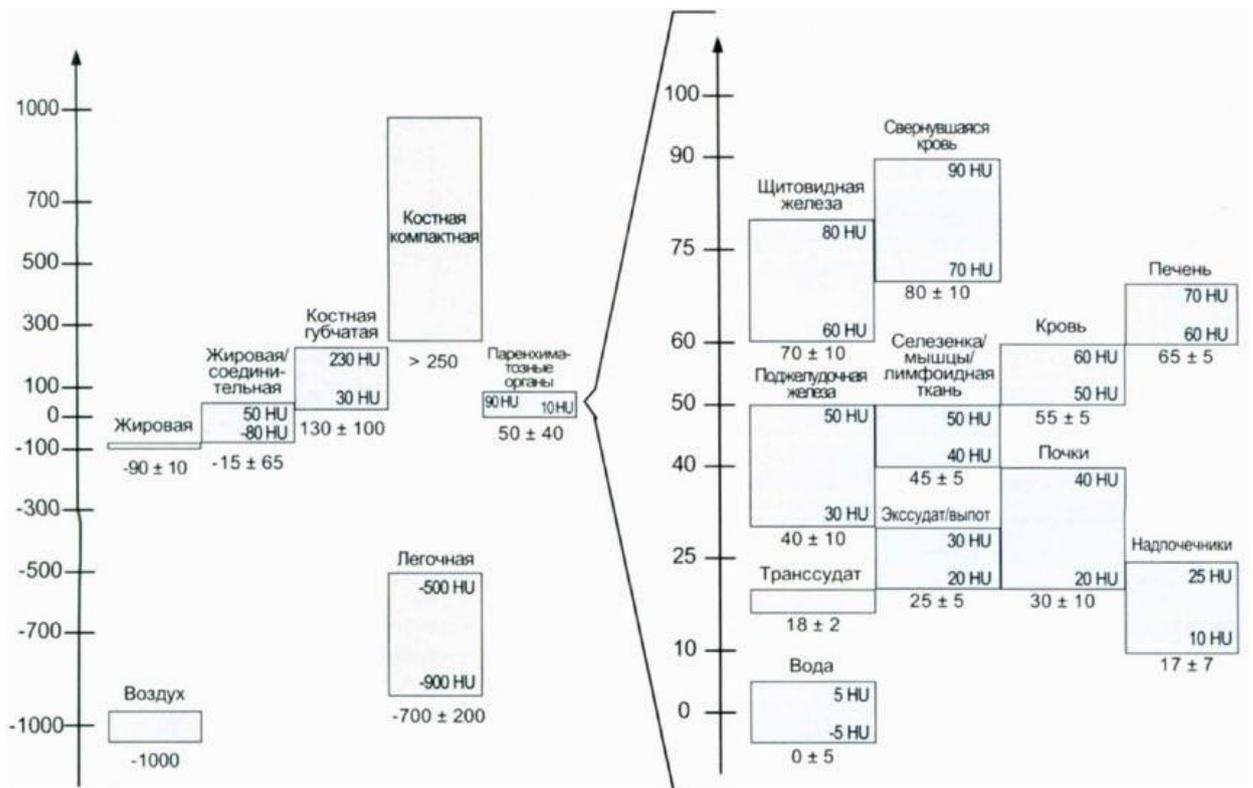


Рисунок 1.3 – Шкала индексов Хаунсфилда для различных органов и тканей человеческого организма.

Также индексы Хаунсфилда для произвольной ткани T можно рассчитать по формуле:

$$HU_T = \frac{(\mu_T - \mu_{H_2O})}{\mu_{H_2O} - \mu_{возд}} * 1000$$

где μ_T - линейный коэффициент ослабления ИИ произвольной ткани T, μ_{H_2O} - линейный коэффициент ослабления ИИ воды, $\mu_{возд}$ - линейный коэффициент ослабления ИИ воздуха. Стоит отметить, что индексы Хаунсфилда не зависят от энергии рентгеновских лучей, они являются постоянными для конкретных тканей [14].

Так в данной работе будут рассчитаны индексы Хаунсфилда (КТ-индексы или рентгеновская плотность) пластиковых образцов, и определена их тканеэквивалентность по соответствию полученных индексов со Шкалой индексов Хаунсфилда.

1.3 Компьютерное моделирование

3D-моделирование представляет собой процесс использования программного обеспечения для создания математического представления трехмерного объекта или формы. Созданный объект называется 3D-моделью, и такие трехмерные модели используются в различных отраслях [15].

Несомненно, 3D-моделирование широко используется и в медицине. До недавнего времени основными направлениями 3D-моделирования, или визуализации, в медицине были точечная или комплексная томография, а также конструирование и создание протезов. Но в начале 21 века создание трехмерных моделей различных органов и тканей стало применяться для изготовления дозиметрических фантомов [16].

Это было связано в первую очередь с бурным развитием аддитивных технологий или технологий быстрого прототипирования, а также, что является важнейшей причиной – высокой анатомической точностью таких моделей.

В основном базой для моделирования органов и тканей служат полученные после томографического исследования ряд изображений. После чего воплощенный в жизнь результат томографии может стать основой для создания имплантата, например, зуба, который будет идеально подходить по размерам пациенту. В более сложном варианте технология помогает смоделировать протез конечности, слуховой аппарат, вены, нервы и даже искусственный сердечный клапан. Активно развивается биопечать – в ней вместо красок используются живые человеческие клетки. Но первый этап конструирования остается за компьютерными 3D программами. Здесь, как и при построении мультипликационных героев, используется полигональное моделирование. Искривление пластин показывает дефекты тканей. Воздействие на фрагменты позволит создать объемную фигуру идеального имплантата, а вращение и передвижение частей покажет, как будет двигаться протезированная рука [17].

В нашем же случае 3D-моделирование используется для создания

антропоморфного фантома, имеющего практическое применение в планировании лучевой терапии.

1.4 Технологии быстрого прототипирования

В современном мире возникла потребность в технологии, позволяющей получать изделия быстро и недорого. Такая технология впервые появилась в 1980-х г., когда доктор Хидео Кодама в Японии разработал систему быстрого прототипирования с использованием фотополимеров. Такая технология впоследствии была названа 3D-печатью/3D-принтером или аддитивными технологиями. Быстрое прототипирование – это способ послойного объемного построения физической детали (прототипа) в соответствии с ее трехмерной CAD-моделью. Основное преимущество и отличие от более традиционных технологий заключается в том, что исходное изделие не нуждается в отделении «лишнего» материала от заготовки, так как процесс представляет собой послойное наращивание материала, образующего изделие, включая входящие в нее внутренние и даже подвижные части [18]. Не стоит забывать и о том, что данные технологии относительно недорогие и качественные, за счет использования полимеров в качестве материалов для изделий, кроме этого время, затраченное на их изготовление, удивительно небольшое от нескольких часов до дней, а не недели и месяцы в случае традиционных методов.

Создание детали с помощью аддитивных технологий делиться на два этапа: построение цифрового прототипа в специальной программе (при этом модель рассекают на тонкие слои в поперечном сечении) и послойное печатание на горизонтальной подложке физического прототипа с помощью материала и экструдера [19].

Схема всех принтеров для изготовления прототипов примерно одинакова: тонкий слой материала наносят на рабочий стол, элеватор установки, который воспроизводит первое сечение изделия, далее элеватор смещается вниз на один шаг и наносится следующий слой. Так послойно строится модель нужной формы требуемого изделия.

На данный момент существует множество различных методов послойного прототипирования. Основным различием между ними является прототипирующий материал и способ его нанесения. Далее приведены основные из них:

1. Стереолитография;
2. Технология SLS;
3. Технология FDM;
4. Технология струйного моделирования;
5. Технология склеивания порошков;
6. Технология LOM;
7. SGC.

1.4.1 Создание изделий методом послойного наплавления (FDM)

В данной работе экспериментальные образцы изготавливались методом послойного наплавления. Метод послойного наплавления (англ. Fuseddepositionmodeling (FDM)) - технология аддитивного производства, широко используемая при создании трехмерных моделей, при прототипировании и в промышленном производстве. Принцип действия данного метода заключается в последовательном нанесении слоев материала, при этом слои точно повторяют контуры цифровой модели (построение изделия идет снизу-вверх) [20].

Изделие, или «модель», производится выдавливанием («экструзией») и нанесением микрокапель расплавленного термопластика с формированием последовательных слоев, застывающих сразу после экструдирования. Пластиковая нить разматывается с катушки и скармливается в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия. Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель. Как правило, верхняя

часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала. Печать осуществляется таким образом, что бы направление нанесения нитей в ближайших слоях было перпендикулярно друг другу. Расстояние между центрами нитей в слое d (см. Рис. 1.4) определяет коэффициент наполнения изготавливаемого объекта пластиком. С увеличением параметра d нити образуют сетку с большими воздушными пустотами [21].

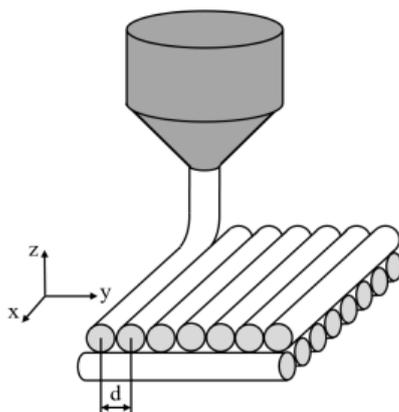


Рисунок 1.4 – Процесс изготовления изделий методом послойного наплавления

При исследовании образцов, необходимо было выявить зависимость не только от вида используемого полимера, но и от вышеописанного параметра печати.

1.4.2 Пластики, используемые для создания изделий методом послойного наплавления

На данный момент существует очень длинный до сих пор пополняющийся список используемого материала в быстром прототипировании. Однако в данном исследовании были выбраны два пластика для изготовления экспериментальных образцов: SBS и PLA-пластики, далее последуют краткие характеристики каждого:

Пластик на основе SBS (стиролбутадиенстирольный блок-сополимер) отличается от обычного SBS-пластика повышенной жёсткостью, улучшенной межслойной адгезией и стойкостью к истиранию, что делает его отличной

заменой PLA. В отличие, например, от ABS, пластик SBS-PRO не впитывает влагу при длительном хранении, имеет меньшую усадку и не пахнет при печати. Высокая гибкость, ударопрочность и морозостойкость (до -80°C), стойкость к кислотам, щелочам, спиртам и жирам, все материалы этой серии сертифицированы для контакта с пищей (в том числе горячей), полное отсутствие запаха при печати и в изделии, абсолютная не гидроскопичность материалов, что позволяет их хранить в любом удобном месте и не сушить перед использованием в 3D-принтере, все материалы в виде распечатки могут быть подвергнуты химической обработке в различных растворителях с целью получения глянцевой поверхности, прозрачности или улучшения конструктивной прочности [22].

Полилактид (PLA, ПЛА) – один из наиболее широко используемых термопластиков, что обуславливается сразу несколькими факторами. Начнем с того, что PLA известен своей экологичностью [9]. Этот материал является полимером молочной кислоты, что делает PLA полностью биоразлагаемым материалом. Сырьем для производства полилактида служат кукуруза и сахарный тростник. В то же время, экологичность полилактида обуславливает его недолговечность. Пластик легко впитывает воду и относительно мягок. Как правило, модели из PLA не предназначаются для функционального использования, а служат в качестве дизайнерских моделей, сувениров и игрушек. Среди немногих практических промышленных применений можно отметить производство упаковки для пищевых продуктов, контейнеров для лекарственных препаратов и хирургических нитей, а также использование в подшипниках, не несущих высокой механической нагрузки (например, в моделировании), что возможно благодаря отличному коэффициенту скольжения материала. Одним из наиболее важных факторов для применения в 3D-печати служит низкая температура плавления – всего $170-180^{\circ}\text{C}$, что способствует относительно низкому расходу электроэнергии и использованию недорогих сопел из латуни и алюминия. Как правило, экструзия производится при $160-170^{\circ}\text{C}$. В то же время, PLA достаточно медленно застывает

(температура стеклования составляет порядка 50°C), что следует учитывать при выборе 3D-принтера. Оптимальным вариантом является устройство с корпусом открытого типа, подогреваемой рабочей платформой (во избежание деформаций моделей большого размера) и, желательно, дополнительными вентиляторами для охлаждения свежих слоев модели. PLA обладает низкой усадкой, то есть потерей объема при охлаждении, что способствует предотвращению деформаций. Тем не менее, усадка имеет кумулятивный эффект при увеличении габаритов печатаемых моделей. В последнем случае может потребоваться подогрев рабочей платформы для равномерного охлаждения печатаемых объектов. Стоимость PLA относительно невелика, что добавляет популярности этому материалу [23].

Выбор именно этих полимеров в качестве возможных тканеэквивалентных материалов для создания дозиметрических фантомов был обусловлен благодаря ряду преимуществ, описанных выше, а также доступности и распространенности данных видов пластиков.

1.5 Компьютерная томография

1.5.1 Принцип работы компьютерной томографии

Для определения рентгеновской плотности любых материалов, как правило, используют любую установку, которая способна генерировать различные виды излучения. Для этого исследуемый материал помещают в источник излучения, оснащенный детекторами и специальной системой, способной преобразовать сигналы, регистрируемые на детекторе, в цифровую модель. В данной работе для исследования рентгеновских плотностей экспериментальных образцов был выбран медицинский компьютерный томограф. Далее в общих чертах описывается принцип работы данной установки.

Принципы компьютерной томографии основаны на использовании рентгеновских лучей. Так же как и в рентгенографии в компьютерном томографе используется рентгеновское излучение [24]. Рентгеновские лучи

проходят сквозь тело человека, при этом они поглощаются разными тканями по-разному. Но на обычной рентгенограмме мы видим лишь наложение теней всех органов, а компьютерная томография дает возможность получить изображение определенного среза органа или комплекса органов. Все это происходит благодаря тому, что стол, на котором находится пациент, поступательно перемещается. На него направляется узкий пучок излучения, сканируя тело. При этом пучок движется по окружности. Датчики внутри аппарата компьютерной томографии преобразуют излучение в электрические сигналы, которые записываются и передаются на монитор компьютера в центре компьютерной томографии. Цифровое изображение преобразуется в строение исследуемого органа. Размеры изображения можно увеличивать.

На рисунке 1.5 представлен общий принцип работы компьютерного томографа.

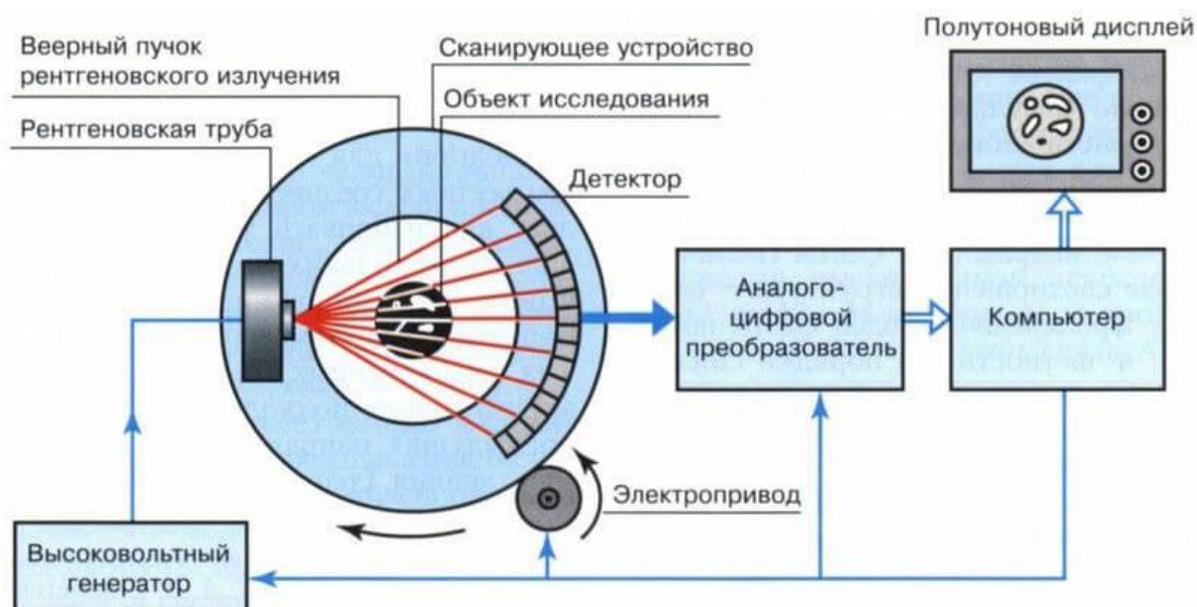


Рисунок 1.5 – Принцип работы компьютерного томографа

Для того чтобы дифференцировать различные патологии, применяют контрастные вещества (особенно, если речь идет об исследовании сосудов). Этот метод получил у пациентов название «Усиленное КТ» [25].

Получив изображение определенного количества таких срезов в пошаговом режиме, мы увидим 3D-реконструкцию органов исследуемого и

имеющиеся в них патологии. Врачу становятся доступны двумерные изображения, которые характеризуются четкостью и напоминают анатомические срезы. Это принципиально отличает КТ от всех остальных методик, в основе которых лежит рентгеновский луч. Изображение, полученное при помощи компьютерного томографа, лишено так называемой суммации – взаимного наложения составных частей исследуемого объекта [26].

Современные КТ позволяют видеть все органы тела с высокой степенью разрешения. Благодаря отсутствию суммации теней и способности анализировать каждый срез объекта был выбран метод определения рентгеновской плотности именно с помощью компьютерного томографа.

1.5.2 Область применения компьютерной томографии

Компьютерная томография имеет широкий диапазон применения практически во всех областях медицины. Она незаменима для диагностики заболеваний практически во всех отраслях медицины, от нейрохирургии, где она стала применяться в первую очередь, до исследования органов брюшной полости, легких, успешно применяется в урологии, в исследовании скелета человека в т. ч., его суставов [27].

Современные устройства 3D-сканирования позволяют обнаружить дефекты органов и тканей, которые скрыты при простом рентгене или УЗИ. Появление таких технологий сделало возможным определение заболевания в тех ситуациях, когда ранее проводились диагностические операции. Широкое распространение они приобрели в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Для удобства обращения с новшеством больницы не ограничиваются компьютерными макетами, а приобретают принтеры для объемной печати.

На вопрос, насколько вреден этот метод, учитывая использование в нем рентгеновских лучей, ответ – вред относителен. Компьютерная томография также «вредна», как рентген. Доза облучения очень невелика, а при использовании последних поколений компьютерных спиральных томографов,

она становится минимальной, поскольку существенно сокращается время обследования.

1.5.3 Преимущества компьютерной томографии

Современные мультисрезовые компьютерные томографы дают возможность получать изображения исследуемых объектов толщиной срезов до 0,5 мм в различных плоскостях при очень высокой скорости сканирования, а также производить постпроцессинговую обработку данных с получением объемных реконструкций, что приводит к высокой диагностической точности метода.

Однако при КТ, как и при любом другом рентгенологическом методе, принципиально возможно различить только четыре структурных составляющих:

- кости и обызвествления;
- жир;
- воздух;
- мягкие ткани и воду.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

В настоящее время ценность любого научного исследования определяется не столько новизной и глобальностью открытия, заложенного в работу, сколько практической направленностью данной разработки, а именно, возможность широкого использования в предполагаемом сегменте рынка. Критерием по оценке данной практичности в первую очередь является коммерческая ценность. Оценка данного критерия позволит предположить перспективу исследования, с возможностью финансирования и поддержки со стороны заинтересованных лиц, в том числе организаций и государства.

Не стоит забывать, что привлекательность работы для коммерческих предприятий растет не только с наличием принципиально инновационных методик по разработке объекта, но и тем насколько данная методика применима и окупаема. Следовательно перед разработчиком стоит цель проводить исследования направленные на изучение возможных затрат на реализацию и оценку прибыли, полученной во время эксплуатации данной разработки и т.д.

Достижение данной 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.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования являются трехмерные модели биологических тканей человека, созданные для дальнейшего изготовления антропоморфных индивидуальных фантомов на 3D-принтерах.

Целевым рынком данной работы будут являться в основном медицинские учреждения и государственные корпорации в научной и космических отраслях, а также в сфере образования. Результаты сегментирования представлены на рисунке 4.1.

		Создание объемных моделей биологических тканей на основе томографических данных			
		Медицинские учреждения	Научная отрасль	Космическая отрасль	Образовательная отрасль
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию объемных моделей биологических тканей на основе томографических данных

Таким образом, на рисунке 4.1 представлены основные потребители разработанных моделей.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. Определены следующие технические критерии оценки:

- Время наработки данных – технические характеристики вычислительных технологий.
- Помехоустойчивость – способность устройства выполнять свои функции при наличии помех.
- Мобильность – возможность передвижения установок для работы в различных местах.
- Потребность в ресурсах памяти – технические характеристики вычислительных технологий.
- Наличие отходов – чистота производства.
- Простота в эксплуатации – удобство в использовании.
- Наличие дорогостоящего оборудования – возможность использования современного оборудования.
- Помимо технических критериев оценки ресурсоэффективности определены также и экономические критерии оценки:
 - Конкурентоспособность продукта – соотношение достоинств и недостатков различных способов обеспечения, с помощью полученных материалов и объектов, точной диагностики в лучевой терапии.
 - Стоимость реализации проекта – оценка финансовых затрат на реализацию проекта.
 - Трудоемкость – количество времени, затрачиваемого на производство единицы продукции.
 - Финансирование научной разработки – поддержка государством или инвесторами [33].

В таблице 4.1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Время наработки данных	0,2	3	4	1	0,6	0,8	0,2
2. Помехоустойчивость	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
3. Мобильность	0,2	5	3	5	1	0,6	1
4. Потребность в ресурсах памяти	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
5. Наличие отходов	0,06	5	3	5	0,3	0,18	0,3
6. Простота в эксплуатации	0,09	5	3	1	0,45	0,27	0,09
7. Наличие дорогостоящего оборудования	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
8. Конкурентоспособность продукта	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
9. Цена	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
10. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
11. Трудоемкость	0,05	4	5	1	0,2	0,25	0,05
Итого	1				4,36	3,82	3,24

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i = 4,36 \quad (4.1)$$

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

Фантомы, используемые в лучевой терапии, на сегодняшний день дорогостоящие и изготовление их занимает большой промежуток времени. Кроме этого данные фантомы универсальны (усреднены), а значит, их нельзя использовать для планирования лучевой терапии конкретного пациента.

Полученные данные в таблице 4.1 позволяют говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое

качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

4.1.3 SWOT-анализ

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

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. SWOT-анализ данного научно-исследовательского проекта представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

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

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.2.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1.Актуальность предлагаемого решения.</p> <p>С2.Применение современного оборудования и программного обеспечения.</p> <p>С3.Бюджетное финансирование.</p> <p>С4.Получение результатов высокой точности</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1.Ограниченное применение конкретной модели.</p> <p>Сл2.Необходимость экспериментального подтверждения результатов</p> <p>Сл3.Необходимость ручного редактирования</p> <p>Сл4.Ограниченный круг потребителей</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование разработки для дальнейших исследований.</p> <p>В2.Разработка процедур и регламентов для создания новых дозиметрических фантомов.</p> <p>В3.Расширение возможностей данной разработки.</p> <p>В4.Спрос на результаты исследования при разработке новых фантомов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Полное обеспечение условий для создания и применения модели для расчетов.</p> <p>2. Заинтересованность различных организаций и групп ученых в проведенных исследованиях.</p> <p>3. Высокая точность получаемых результатов позволяет повысить спрос на разработку.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1.Экспериментальное подтверждение полученных результатов может быть только частично реализовано в НИ ТПУ и РФЯЦ-ВНИИЭФ.</p> <p>3. Круг потребителей можно увеличить, если повысить функционал разработки, а также еще более упростить алгоритм работы с разработкой</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Низкий спрос со стороны заказчиков.</p> <p>У2.Вероятность разработки подобных моделей другими организациями.</p> <p>У3.Сложность продвижения разработки.</p> <p>У4.Отсутствие возможности проведения сложных экспериментов.</p> <p>У5.Разработка новейших фантомов, принципиально другой технологией</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1.Благодаря возможностям и простоте алгоритмов разработки и своевременному финансированию продвижение на рынок может стать успешным.</p> <p>2.Использование современного программного обеспечения для разработки фантомов позволит конкурировать с другими организациями.</p> <p>3.Дополнительное финансирование позволит провести дальнейшие исследования в улучшении разработки.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1.Сотрудничество с заинтересованными организациями поможет облегчить процесс проведения сложных экспериментов.</p>

На основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работы – это детализация укрупненной структуры работы. На рисунке 4.2 представлена иерархическая структура работы для данного исследования.



Рисунок 4.2 - Иерархическая структура работы

4.2.2 Контрольные события проекта

Данный раздел освещает основные события проекта, их результат и даты. Информация сведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Основные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания	7.02.2019- 10.02.2019	Приказ о ВКР
2	Составление и утверждение технического задания	15.02.2019	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	15.02.2019	-
4	Подбор и изучение материалов по теме	15.02.2019- 20.02.2019	Отчёт
5	Календарное планирование работ	20.02.2019	План работ
6	Изучение программного обеспечения	05.03.2019	Отчёт
7	Создание модели	15.03.2019	Отчёт
8	Проведение расчётов	15.03.2019- 30.04.2019	Отчёт
9	Сравнение полученных данных	30.03.2019	Отчет
10	Разработка методики эксперимента	5.03.2019- 30.04.2019	Методика
11	Проведение эксперимента	30.04.2019- 5.05.2019	-
12	Обобщение и оценка результатов	5.05.2019	Отчёт
13	Составление пояснительной записки	14.02.2019- 05.05.2019	Пояснительная записка
14	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	05.05.2019	
15	Подготовка к защите	05.05.2019- 30.05.2019	

4.2.3 План проекта

После составления контрольных событий проекта формулируется план проекта – порядок этапов и работ, выполняемых рабочей группой, состоящей из научного руководителя и бакалавра. С планом проекта можно ознакомиться в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5 – Порядок составления этапов и работ

№ работы	Название	Длительность, кал. дни	Дата	Состав участников
1	Разработка технического задания	4	07.02.2019-10.02.2019	руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	5	10.02.2019-15.02.2019	руководитель студент
3	Выбор направления исследования	1	15.02.2019	руководитель студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	7	15.02.2019-22.02.2019	руководитель студент
5	Календарное планирование работ	1	22.02.2019	студент
6	Изучение программного обеспечения	10	22.02.2019-01.03.2019	студент
7	Создание модели фантома	3	01.03.2019-04.03.2019	студент
8	Создание модели материалов	1	05.03.2019	студент
9	Проведение расчетов	45	05.03.2019-20.04.2019	студент
10	Сравнение полученных данных	1	21.04.2019	студент руководитель
11	Разработка методики эксперимента	15	21.04.2019-05.05.2019	студент руководитель
12	Проведение эксперимента	5	05.05.2019-10.05.2019	студент
13	Обобщение результатов	1	11.05.2019	студент руководитель
14	Составление пояснительной записки	51	14.02.2019-05.05.2019	студент
15	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	06.05.2019	студент
16	Подготовка к защите	30	01.05.2019-30.05.2019	студент

В ходе научного исследования был построен ленточный график в форме диаграмм Гантта, таблица 4.6. Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором плановые работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 4.6 – Календарный график проведения ВКР

Содержание работ	Тк, кал дни	Время выполнения работ															
		февраль			март			апрель			май			июнь			
1	Разработка технического задания	4	█														
2	Составление и утверждение технического задания	5		█													
3	Выбор направления исследования	1		█													
4	Подбор и изучение материалов по теме	7		█	█												
5	Календарное планирование работ	1			█												
6	Изучение программного обеспечения	10				█	█										
7	Создание модели фантома	3					█	█									
8	Создание модели материалов	1						█									
9	Проведение расчетов	45						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
10	Сравнение полученных данных	1								█							
11	Разработка методики эксперимента	15									█	█	█	█	█	█	█
12	Проведение эксперимента	5										█	█	█	█	█	

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе расчета бюджета научно-технического исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы
2. Затраты на оплату труда работников
3. Отчисления во внебюджетные фонды
4. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ
5. Прочие прямые расходы
6. Накладные расходы

Статьи 1-7 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного научно-технического исследования, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание общетехнических служб.

4.3.1 Расчет материальных затрат

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Основными устройствами, потребляющими электроэнергию, являлись: персональный компьютер ASUS. Для оформления пояснительной записки и выполнения расчетов в течение 440 часов использовался компьютер ASUS, мощность которого составляет 140 Вт. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 3.3.1.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} * P * F_{\text{об}} = 4,30 * 0,14 * 440 = 264,9 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

где $C_{\text{эл}}$ - тариф на электроэнергию (4,30 руб. за 1 кВт*ч); P - мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ - время использования оборудования, ч.

Рассчитываем затраты на приобретения оборудования, используемого в проведении работы. Специальное оборудование, используемое для работы, входит в виде амортизационных отчислений за период использования. Цена компьютера ASUS составляет 45 тысяч рублей, срок службы 3 года. Исходя из этого, были рассчитаны амортизационные отчисления и норма амортизации для данных средств.

Расчет амортизационных отчислений ведется по формуле:

$$A = \frac{H_A * C * T_0}{365 * 100\%}, \quad (4.3)$$

где A – амортизационные отчисления, руб.; C - стоимость оборудования, руб.; H_A - годовая норма амортизации, %; T_0 – время использования оборудования, ч.

Годовая норма амортизации для персонального компьютера ASUS составляет 10 %.

Рассчитаем амортизационные отчисления за период использования ПК ASUS:

$$A = \frac{H_A * C * T_0}{365 * 100\%} = \frac{10 * 45000 * 90}{365 * 100\%} = 1109,59 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления по единицам оборудования приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Амортизационные отчисления по единицам используемого оборудования.

Наименование оборудования	Количество	С, руб.	H_A , %	T_0 , дни	А, руб.
Персональный компьютер	1	45000	10	20	1109,59
Итого, руб.:					1109,59

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Расходы на материалы

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб
SBS-пластик	-	10 кг	300	3000
Электроэнергия	-	400кВт*ч	4,3	1720
Бумага	Снегурочка	1 пачка	270	270
Ручка	MaxRitter	4	50	200
Доступ в интернет	КЦ	5месяца	350	1750
Всего материалов				6940
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого				6940

4.3.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением нужного оборудования, необходимого для проведения научной работы [34].

В данной диссертационной работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, а именно создание материалов и объектов относится принтер для трехмерной печати «UP!Plus 2», стоимость которого составляет 82000 руб., назначенный срок службы - 7 лет. Создание объектов на 3D – принтере занимает 20 часов при мощности оборудования 220 Вт.

Таким образом, рассчитаем затраты на электроэнергию по формуле для устройства «UP Plus 2»:

$$C = C_{эл} * P * F_{об} = 4,30 * 0,22 * 20 = 18,92 \text{ руб.} \quad (4.4)$$

где $C_{эл}$ - тариф на электроэнергию (4,30 руб. за 1 кВт*ч); P- мощность оборудования, кВт; $F_{об}$ - время использования оборудования, ч.

Рассчитываем затраты на приобретения оборудования, используемого в проведении работы. Специальное оборудование, используемое для работы, входит в виде амортизационных отчислений за период использования. Исходя из данных, представленных выше, были рассчитаны амортизационные отчисления и норма амортизации для данных средств. Годовая норма амортизации для устройства «UP Plus 2» составляет 10 %.

Рассчитаем амортизационные отчисления для устройства «UP Plus 2»:

$$A = \frac{H_A * C * T_0}{365 * 100\%} = \frac{10 * 82000 * 90}{365 * 100\%} = 2021,92 \text{ руб.,}$$

где A – амортизационные отчисления, руб.; C – стоимость оборудования, руб.; H_A – годовая норма амортизации, %; T_0 – время использования оборудования, ч.

Амортизационные отчисления по единицам оборудования приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Амортизационные отчисления по единицам оборудования

Наименование оборудования	Количество	C , руб.	H_A , %	T_0 , дни	A , руб.
UP Plus 2	1	82000	10	20	2021,92
Итого, руб.					2021,92

4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования

Статья включает основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1. Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2. Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} * Z_{осн}, \quad (4.5)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата в рублях; $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = T_{\text{раб}} * Z_{\text{дн}}, \quad (4.6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{T_{\sigma}}, \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- а) при отпуске в 56 раб. дн. $M = 10,1$ месяца, 5-дневная неделя;
- б) при отпуске в 48 раб. дн. месяца, 6-дневная неделя. $M = 10,4$

T_{σ} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники):	118	118
-выходные;	100	100
-праздничные.	18	18
Отпуск	45	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	218	232

Инженер во время написания диплома ежемесячно получает стипендию в размере 2400 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием;

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;

– доплата за работу во вредных условиях труда;

– оперативная премия.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

$$Z_M = Z_{ок} * k_z, \quad (4.7)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.; k_z – зонный коэффициент, равный 1,2.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник в должности старший научный сотрудник лаборатории № 40 технической томографии и интроскопии Инженерная школа неразрушающего контроля Томского политехнического университета окладом 26100 руб. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26100	31320	1451	8	11608
Инженер	2400	2880	129	63	8127
Итого $Z_{осн}$:					19735

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.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп}, \quad (4.8)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	11608	8127
Дополнительная зарплата, руб.	1741	1219
Зарплата исполнителя, руб.	13349	9346
Итого по статье $C_{\text{зп}}$, руб.	22695	

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019г. водится пониженная ставка 28% (п. 6 ч. 1 ст. 58 Закона 212-ФЗ).

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}}, \quad (4.10)$$

где $k_{\text{пф}}$ – коэффициент отчисления в пенсионный фонд; $k_{\text{с}}$ – коэффициент отчисления страховых взносов; $k_{\text{пн}}$ – коэффициент отчисления в подоходный налог.

$$k_{\text{внеб}} = 0,28$$

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

$$З_{внеб} = 0,28 * 13349 = 3337,25$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда инженера вычисляются следующим образом:

$$З_{внеб} = 0,28 * 9346 = 2616,9$$

4.3.5 Накладные расходы

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

Накладные расходы в ТПУ составляют 50-80 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = K_{накл} * (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.11)$$

где $K_{накл}$ – коэффициент накладных расходов, равный 60 %.

Накладные расходы составят:

$$C_{накл} = 1,6 * 22695 = 36312 \text{ руб.}$$

4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы проекта 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.

Таблица 4.13 – Расчет бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты исследования	6940
2. Амортизационные отчисления	3131,51
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	19735
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	2960
5. Отчисления во внебюджетные фонды	5954,13
6. Накладные расходы	36312
Бюджет затрат исследования	75032,64

4.5 Определение ресурсной эффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (20)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.14.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	2
4. Энергосбережение	0,20	5	4	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	3	4
ИТОГО	1	4,3	4	3,15

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (21)$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{71610,51}{80000} = 0,89;$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{100000}{71610,51} = 1,4;$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{90000}{71610,51} = 1,26.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p}; \quad (22)$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\Phi}^a}; \quad (23)$$

$$I_{финр}^p = \frac{4,3}{0,89} = 4,83;$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{4}{1,4} = 2,86;$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{3,15}{1,26} = 2,5.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_m^p}. \quad (24)$$

Таблица 13– Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	4	3,15	4,3
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	2,86	2,5	4,48
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,01	1	1,04

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта выше других аналогов.

Таким образом, итоговая себестоимость исследовательской работы по тематике диплома составила 71610,51 рубль, время, необходимое для выполнения работы, составило 92 календарных дней.

5. Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа выполнялась в следующих помещениях: лаборатории инженерной школы ядерных технологий и Томском НИИ онкологии. В выше названных помещениях располагается оборудование, при работе с которыми необходимо соблюдать ряд правил: техника безопасности, охрана труда, правила электро- и пожарной безопасности.

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 [35].

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 [35], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

В данной исследовательской работе будут рассмотрены вредные факторы и соблюдение техники безопасности при обработке полученных результатов исследования на ЭВМ.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные факторы, возникающие на рабочем месте, классифицируются по группам: физические, биологические и психофизиологические. Именно наличие данных факторов характеризуют производственные условия. В таблице 5.1 приведены основные элементы производственного процесса исследовательской работы, которые могли сформировать опасные и вредные факторы.

Таблица 5.1 - 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	
1. Работа в лаборатории НИИ Онкологии с образцами из СБС и PLA-пластика с различным коэффициентом заполнением	1. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	-	Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09. ГОСТ 12.2.018-76 «ССБТ. Аппараты рентгеновские. Общие требования безопасности»
2. Расчеты и моделирование на компьютере производились в лаборатории инженерной школы ядерных технологий Томского политехнического университета и в домашних условиях на личном компьютере	2. Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	-	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	-	4.Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	3. Шум, вибрация, климат, освещение	-	ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
	-	5.Пожароопасность	ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

Как говорилось ранее, на рабочем месте могут возникнуть следующие вредные факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещенность;
- наличие излучения;

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статические или динамические);
- нервно-психические перегрузки.

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

5.2.1 Организационные мероприятия

Как правило, знание и строгое соблюдение правил техники безопасности входит в обязанность каждого сотрудника. Ответственное лицо, обязуется обучить персонал технике безопасности и производственной санитарии, проводя вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте.

После чего проводится периодическая проверка знаний правил безопасности квалификационной комиссией уже после обучения на рабочем месте.

По прохождению проверки проверяемому присваивается квалификационная группа по технике безопасности, соответствующая его знаниям и опыту работы, а также выдается специальное удостоверение.

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

5.2.2 Технические мероприятия

Работа с ПЭВМ предполагает длительное нахождение персонала за рабочим столом, из-за чего необходимо максимально рационализировать планировку рабочего места. Рациональная планировка включает в себя четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. Предметы, необходимые для выполнения работ делятся на две категории: часто используемые и редко используемые, часто используемые предметы должны располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1.

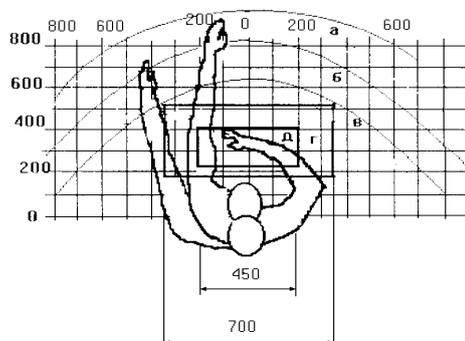


Рисунок 5.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости, где

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 [36].

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 – зона в (слева) - литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

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

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

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. 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

Обозначим основные параметры рабочей среды, которые характеризуют условия труда: микроклимат, электромагнитное поле, излучение, освещенность.

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 [37] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата организуют следующие мероприятия: проектируют оптимальную вентиляцию с необходимым воздухообменом (наружный воздух должен подаваться в объеме не менее 30 м³ в час на человека для помещения объемом до 20 м³ на человека; а при объеме более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция), обеспечивают систему отопления, сохраняющую постоянное и равномерное нагревание воздуха, для помещений с повышенным требованием к чистоте воздуха используют водяное отопление, и последнее: кондиционирование воздуха.

Параметры микроклимата в лаборатории, в которой проводилось научное исследование регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 50%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом от минус 20 до 25°С, зимой от минус 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 видео-кабеля. Согласно [37] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 25В/м;

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 250нТл;

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [37] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.3 Радиационная безопасность

Использование источников излучения и устройств, генерирующих ионизирующее излучение, регламентируется требованиями государственных стандартов и технической документации на источники излучения. Таким образом, необходимо выполнять технику радиационной безопасности, во избежание неблагоприятного воздействия ионизирующего излучения на организм человека.

5.3.1 Основные принципы 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. Поэтому необходимо строго следовать основным принципам техники

радиационной безопасности.

Соответственно, за год работы не должны быть превышены основные пределы доз, которые представлены в таблице 5.3 [38].

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 глаза*** кожа**** кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв
Примечания:		
*Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.		
** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории "персонал" приводятся только для группы А.		
*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см ²		
**** Относится к среднему по площади в 1 см ² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см ² под покровным слоем толщиной 5 мг/см ² . На ладонях толщина покровного слоя - 40 мг/см ² . Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см ² площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.		

В общем виде можно указать следующие основные принципы техники радиационной безопасности [39]:

1. К работе с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями допускаются персонал группы А и Б, которые прошли медицинское обследование и были признаны по результатам этого обследования пригодными к работе с ионизирующим излучением. Беременные женщины к таким видам работ не допускаются.

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

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

Кроме того, в каждой лаборатории, на каждом предприятии должны строго соблюдаться местные правила радиационной безопасности.

5.3.2 Работа с Компьютерным томографом

В данной работе определены КТ- индексы образцов при помощи компьютерного томографа Siemens Somatom Emotion 16. Компьютерном томографе, один из главных элементов является рентгеновская трубка и генератор. Трубка мощностью 30-50 кВт работает в импульсном режиме при напряжении 100-130 кВт и с частотой импульсов 50 Гц.

Аналогично любому ионизирующему излучению, рентгеновское излучение, которое генерирует рентгеновская трубка, при взаимодействии с человеческим организмом оказывает пагубное влияние, которое может проявиться как сразу – детерминированным эффектом – появление головной боли, рвоты, диареи радиационный ожог и т.д., так и отдаленными последствиями – стохастическим эффектом - увеличение вероятности возникновения радиационно-индуцированного рака и т.д.

Согласно основным правилам радиационной безопасности, для проведения компьютерной томографии разрешается применять аппараты, отвечающие требованиям ГОСТ 7248-75, ГОСТ 12.2.018-76 [40, 41].

Общие требования к радиационной защите при использовании оборудования [41]:

– при проведении компьютерной томографии в помещении радиационная защита рабочей камеры должна обеспечить снижение мощности экспозиционной дозы на наружной поверхности ее до 0,3 мР/час.

– защитные устройства технологических проемов для подачи изделий на просвечивание должны обеспечивать снижение мощности экспозиционной дозы излучения у этих проемов до указанного выше значения.

– защитные устройства установок с рентгеновскими аппаратами в местной защите должны обеспечивать снижение мощности экспозиционной дозы излучения на наружной поверхности защиты до 0,3 мР/ч.

– вход в рабочую камеру должен выполняться защитным. Он должен располагаться в местах с наименьшими уровнями излучения.

– сооружение в защитных устройствах каналов, отверстий и т.д. для технологических целей рекомендуется в местах с наименьшим уровнем излучения.

– все стационарные защитные устройства после их сооружения и установки аппаратов должны быть проверены на соответствие требованиям НРБ и ОСП.

– на наружной поверхности установок с рентгеновскими аппаратами в местной защите, на входных дверях рабочих камер, границе радиационно опасной зоны должны иметься знаки радиационной опасности.

– перед началом работы персонал должен проверить исправность аппарата, проверить напряжение электрической сети.

– перед началом просвечивания персонал должен удостовериться в отсутствии посторонних лиц в рабочей камере.

– за время работы рентгенолог не имеет права отходить от пульта управления аппаратом.

– после окончания смены все сетевые выключатели отключаются

5.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими установками 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.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях [42]:

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

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействие. Тепловое (термическое) действие проявляется в виде ожогов участка кожи, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон. Химическое (электролитическое) действие ведет к электролизу крови и других, содержащихся в организме человека растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма. Биологическое действие проявляется в опасном возбуждении живых клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

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

- параметров электрического тока, протекающего через тело человека (величины напряжения, частоты, рода тока приложенного к телу),
- пути тока через тело человека (рука-рука, рука-нога, нога-нога, шея-ноги и др.),

- продолжительности воздействия тока через тело человека,
- условий внешней среды (влажности и температуры),
- состояния организма человека (толщины и влажности кожного покрова, состояния здоровья и возраста).

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электрических ударов и электротравм.

Электрическим ударом называется такое действие электрического тока на организм человека, в результате которого мышцы тела (например, рук, ног и т.д.) начинают судорожно сокращаться.

В зависимости от величины электрического тока и времени его воздействия, человек может находиться в сознании или без сознания, но при этом обеспечивается нормальная работа сердца и дыхания. В более тяжелых случаях потеря сознания сопровождается нарушением работы сердечно-сосудистой системы человека и ведет даже к смертельному исходу. В результате электрического удара возможен паралич важнейших органов тела человека (сердца, легких, мозга и т.д.).

Электрической травмой называется такое действие электрического тока на организм человека, при котором повреждаются ткани и внутренние органы человека (кожа, мышцы, кости и т.п.).

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры;

5.5 Пожарная безопасность

Согласно [43], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожароопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

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

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, 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 [44,45]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых 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.

Список публикаций студента

1. Исмаилова А. А. , Шкурупий М. С. , Черепенников Ю. М. Определение значений индексов Хаунсфилда объектов, изготовленных методом послойного наплавления с разными параметрами печати // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 т., Томск, 24-27 Апреля 2018. - Томск: ТГУ, 2018 - Т. 1. Физика - С. 150-152
2. Исмаилова А. А. , Красных А. А. , Милойчикова И. А. , Черепенников Ю. М. , Стучебров С. Г. Исследование прохождения электронов через полимерные образцы, изготовленные методами трехмерной печати // IX Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 17-19 Октября 2018. - Томск: Дельтаплан, 2018 – С. 71
3. Шкурупий М.С., Гавриков Б.М., Исмаилова А.А., Красных А.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Калибровка дозиметрической пленки gafchromic EBТЗ на клинических ускорителях // Актуальные вопросы фундаментальной и клинической медицины: сборник материалов конгресса молодых ученых, 24–25 мая 2018 г. - 2018 - С. 364-366
4. Исмаилова А. А. , Красных А. А. , Черепенников Ю. М. Изготовление материалов с заданной рентгеновской плотностью // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов V Всероссийского конкурса научных докладов студентов, Томск, 22-23 Мая 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 52
5. Шкурупий М.С., Исмаилова А.А., Красных А.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Изготовление изделий с заданными КТиндексами // Фундаментальная и клиническая онкология: достижения и перспективы развития: российская научно-практическая конференция, посвященная 40-летию НИИ онкологии Томского НИМЦ, Томск, 22–24 мая 2019 г. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2019. – 267 с

Список используемых источников

1. Бекман И. Н. Радиационная и ядерная медицина: физические и химические аспекты //Радиохимия.–Щелково. – 2012. – Т. 7. – С. 400.
2. Иванов С. А., Потрахов Н. Н., Мазуров А. И. Новые диагностические возможности микрофокусной рентгенографии //Рецензенты. – 2008. – С. 113.
3. Габуния Р. И., Колесникова Е. К. Компьютерная томография в клинической диагностике. – М.: Медицина, 1995.
4. Гранов А. М., Винокуров В. Л. Лучевая терапия в онкогинекологии и онкоурологии. – СПб. : ООО" Изд-во Фолиант", 2002.
5. Климанов В. А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 2. Дистанционная лучевая терапия пучками заряженных частиц и нейтронов. Брахитерапия и радионуклидная терапия. Учебное пособие //М., МИФИ. – 2008.
6. Трофимова А. Н. От рентгена сквозь столетие //Лучевая диагностика и терапия. – 2015. – №. 4. – С. 107-112.
7. Климанов В. А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии //М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». – 2011. – Т. 499.
8. Craft D. F., Howell R. M. Preparation and fabrication of a full-scale, sagittal-sliced, 3D-printed, patient-specific radiotherapy phantom //Journal of applied clinical medical physics. – 2017. – Т. 18. – №. 5. – С. 285-292.
9. Xu X. G. An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history //Physics in Medicine & Biology. – 2014. – Т. 59. – №. 18. – С. R233.
10. Xu X. G., Eckerman K. F. Computational phantoms for radiation dosimetry: a 40-Year history of evolution //Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry. – 2010. – Т. 1. – С. 3-41.

11. Терновой С. К., Синицын В. Е. Развитие компьютерной томографии и прогресс лучевой диагностики //Терапевтический архив. – 2006. – Т. 78. – №. 1. – С. 10-12.
12. Марусина М. Я. пособие.–СПб: СПбГУ ИТМО, 2006.–132 с. – 2006.
13. Рущкая Е. А. Рентгеновская компьютерная томография. Показания и порядок направления больных на исследование //Новости лучевой диагностики. – 1998. – Т. 1. – С. 24-25.
14. Селиванов М. Г.О возможности использования пластинчатого тканеэквивалентного фантома для верификации дозового распределения в лучевой терапии // Медицина и здравоохранение: материалы V Междунар. науч. конф., Казань: Бук, 2017. — С. 30-33.
15. Pito R., Bajcsy R. K. Solution to the next best view problem for automated cad model acquisition of free-form objects using range cameras //Modeling, simulation, and control technologies for manufacturing. – International Society for Optics and Photonics, 1995. – Т. 2596. – С. 78-90.
16. Burleson S. et al. Use of 3D printers to create a patient-specific 3D bolus for external beam therapy //Journal of applied clinical medical physics. – 2015. – Т. 16. – №. 3. – С. 166-178.
17. Тонконогий В. М. и др. Применение CAD/CAM технологий в медицине //Pratsi. – 2013. – С. 150-155.
18. Аддитивные технологии [Электронный ресурс] Режим доступа:http://www.sibtmk.ru/tech_1_bp.html.Дата обращения: 01.11.2017
19. Баева Л. С., Маринин А. А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т. 17. – №. 1.
20. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) [Электронный ресурс] Режим доступа: http://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/. Дата обращения: 07.11.2017

21. Зотов О.Ю., Фролов Д. А. Особенности метода изготовления изделий путем послойного наплавления материала //Ученый XXI века. – 2016. – №. 1.
22. Бутманов Д. Д., Банников М. В., Баяндин Ю. В. Исследование механических свойств термопластичных материалов для 3d-печати //Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. – 2018. – С. 33-33.
23. Голуб И. В., Лебедев А. В. Использование 3D принтинга в протезировании //Биомедицинская инженерия и электроника. – 2017. – №. 4 (18).
24. Терновой С. К., Насникова И. Ю., Морозов С. П. Современная компьютерная томография в клинической медицине //КРЕМЛЕВСКАЯ. – 2014.
25. Филонин О. В. Общий курс компьютерной томографии. – Phylonin Oleg Vasilievich, 2012.
26. Боуэн Д. К., Таннер Б. К., Шутьпина И. Л. Высокорастворимая рентгеновская дифрактометрия и топография. – СПб : Наука, 2002.
27. Южаков А. Д. Анализ томографических данных, полученных на многоканальном газоразрядном детекторе с расходящимся рентгеновским пучком //Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов III Всероссийского конкурса научных докладов студентов, г. Томск, г. Тамбов, 26-27 мая 2015 г. Томск, 2015. – 2015. – С. 83.
28. Suapang P., Dejhan K., Yimmun S. Medical image compression and DICOM-format image archive //ICCAS-SICE, 2009. – IEEE, 2009. – С. 1945-1949.
29. Martins T. et al. InVesalius: three-dimensional medical reconstruction software //Virtual and rapid manufacturing. – 2007. – С. 135-141.
30. Meshmixer [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.meshmixer.com/>.
31. 3D-принтер Ultimaker 3 [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://3dtoday.ru/3d-printers/ultimaker/ultimaker-3/>
32. 3D принтер UP! Plus 2 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://3dtoday.ru/3d-printers/pp3dp/up-plus-2/>. 12.02.2018.

33. 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.
34. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие. – М.: Энергия, 1980. – 175 с.
35. Федеральный закон от 30 июня 2006 г. N 90-ФЗ "О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации, признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых нормативных правовых актов СССР и утратившими силу некоторых законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации"
36. ГОСТ 12.0.002-2014. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
37. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
38. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
39. 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.
40. ГОСТу 12.2.018-76 «ССБТ. Аппараты рентгеновские. Общие требования безопасности». Xu, X.G.; Eckerman, K.F. Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry. Taylor & Francis, 2010. ISBN 978-1-4200-5979-3.
41. ГОСТ 26140-84 «Аппараты рентгеновские медицинские. Общие требования безопасности».
42. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
43. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

44. Пожароопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85
ССБТ Пожарная безопасность.

45. Инструкция по охране труда при проведении радиомонтажных и
настроечных работ.