

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 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Создание объемных моделей биологических тканей на основе томографических данных

УДК 576.7:620.179.152.1:004.925.84:616.849.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ74	Прокопьев Александр Эдуардович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технологии радиационной безопасности	Веригин Д. А.	к.ф.-м.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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) Ядерные физика и технологии
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(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)
28.01.2019	1. Составление технического задания и выбор направления исследований	4
31.02.2019	2. Разработка общей методики проведения исследований	4
25.03.2019	3. Подбор и изучение материалов по теме	4
30.04.2019	4. Получение необходимых экспериментальных данных и проверка полученных результатов	8
30.04.2019	5. Обработка полученных данных	8
15.05.2019	6. Оформление выполненной работы	6

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технологии радиационной безопасности	Веригин Д. А.	к.ф.-м.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM74	Прокопьеву Александру Эдуардовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материальные затраты НИИ – 1232,1 руб. Затраты по заработной плате исполнителей темы – 87769,69 руб. Отчисления во внебюджетные фонды – 29193,10 руб. Накладные расходы – 32317,09 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на промышленную электроэнергию – 5,8 руб. за 1 кВт·ч Районный коэффициент города Томска – 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов – 30% Пониженная ставка – 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Иерархическая структура работ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НИИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
6. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM74	Прокопьев Александр Эдуардович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM74	Прокопьеву Александру Эдуардовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны)</i>	– вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, освещение, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. <i>Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – правила безопасности при работе с 3D-принтером; – химическая безопасность; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– 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).
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i>	– электробезопасность (причины, 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
0AM74	Прокопьев Александр Эдуардович		

Определения, обозначения, сокращения

CAD – computer-aided design/drafting — средства автоматизированного проектирования

CPU – central processing unit, центральное процессорное устройство

CTV – clinical target volume, клинический объем мишени

DICOM – Digital Imaging and Communications in Medicine - медицинский отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации цифровых медицинских изображений и документов обследованных пациентов

DVH – dose volume histogram, гистограмма доза-объем

FDM – fused deposition modeling, метод послойного наплавления

GPU – graphics processing unit, графический процессор

GTV – gross tumor volume, объем видимой опухоли

HU – Hounsfield unit, Индекс Хаунсфилда

OAR – organ at risk, планируемый объем органа риска

PTV – planning target volume, планируемый объем опухоли

STL – stereolithography, формат файла для хранения трехмерных моделей

TV – treated volume, объем лечения

UFC – Ultra Fast Ceramic, материал сверхбыстрых керамических детекторов

ИИ – ионизирующее излучение

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

НИИ – научно-исследовательский институт

УЗ – ультразвуковое излучение

ЭВМ – электронная вычислительная машина

Оглавление

Введение	13
1 Теоретическая часть	15
1.1 Биологическое действие ионизирующих излучений	15
1.2 Лучевая терапия. Планирование	19
1.2.1 Вариативность использования лучевой терапии	19
1.2.2 Принципы использования лучевой терапии для лечения	21
1.2.3 Клинико-дозиметрическое планирование	22
1.3 Исследования при помощи компьютерной томографии	24
1.3.1 Физические и технические основы томографии	24
1.3.2 Этапы получения и обработки томограммы	27
1.3.3 Индексы Хаунсфилда	29
1.4 Фантомы, используемые в медицине	33
1.4.1 Виды дозиметрических фантомов	34
1.4.2 Материалы для изготовления дозиметрических фантомов	35
2 Практическая часть	37
2.1 Используемое оборудование и программное обеспечение	37
2.1.1 Компьютерный томограф Siemens Somatom Emotion	37
2.1.2 Программный пакет InVesalius 3	39
2.1.3 CAD-система Autodesk Meshmixer	40
2.2 Разработка объемных моделей биологических тканей на основе томографических данных	41
2.2.1 Данные компьютерной томографии	41
2.2.2 Обработка томограммы нижней конечности	41
2.2.3 Создание трехмерной модели костных структур нижней конечности	43
2.2.4 Создание трехмерной модели мягких тканей нижней конечности	47

2.2.5 Создание трехмерной модели жировой ткани нижней конечности	50
2.2.6 Создание трехмерной модели кожного покрова нижней конечности	51
2.2.7 Создание сборной трехмерной модели нижней конечности	52
2.2.8 Создание сборной трехмерной модели верхней конечности	54
2.2.9 Создание сборной трехмерной модели грудных клеток	55
2.2.10 Создание сборной трехмерной модели головы	58
2.3 Печать трехмерной сборной модели нижней конечности	59
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	61
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	62
3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	63
3.3 SWOT-анализ	65
3.4 Планирование научно-исследовательской работы	68
3.4.1 Инициация проекта	70
3.4.2 Иерархическая структура работ проекта	72
3.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта	73
3.5 Бюджет научного исследования	77
3.5.1 Расчет материальных затрат НИИ	77
3.5.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	79
3.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы	80
3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	83
3.5.5 Затраты на научные и производственные командировки	84
3.5.6 Контрагентные расходы	84
3.5.7 Накладные расходы	85
3.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	85

3.6 Реестр рисков проекта	87
3.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	88
4 Социальная ответственность	92
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	93
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	95
4.2.1 Организационные мероприятия	95
4.2.2 Технические мероприятия	95
4.3 Условия безопасной работы	98
4.4 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия при работе на 3D-принтере	101
4.5 Электробезопасность	103
4.6 Пожарная и взрывная безопасность	104
4.7 Инструкция по охране труда при работе на 3D-принтере	106
4.7.1 Общие требования	106
4.7.2 Требования безопасности перед началом работы	107
4.7.3 Требования безопасности во время работы	108
Заключение	109
Список публикаций студента	111
Список используемых источников	112
Приложение I	116

1 Теоретическая часть

1.1 Биологическое действие ионизирующих излучений

Все живое на нашей планете всегда подвергается воздействию ионизирующего излучения, как внешнего, так и внутреннего. Ионизирующее излучение – поток заряженных и незаряженных частиц, а также физических полей, обладающих способностью ионизировать окружающую среду, вызывать распад молекул и возбуждение. Данное излучение находит применение во многих областях человеческой деятельности, например, в таких как медицина, строительство, криминалистика, научные исследования и так далее.

При взаимодействии ионизирующего излучения с окружающей средой, проявляются эффекты ионизации молекул среды с последующим возбуждением либо распадом. И, так как человеческий организм тоже является окружающей средой, способной взаимодействовать с ИИ, то при прохождении его через тело наблюдаются схожие наблюдаемые эффекты взаимодействия. Поскольку в нашем организме основную полную массу (а это около 70%) составляет вода, то и все эффекты взаимодействия ионизирующего излучения при внешнем либо внутреннем облучении организма происходит за счет так называемого косвенного взаимодействия: в первую очередь, молекулы воды поглощают частицы, ионизируются, возбуждаются либо разделяются на фрагменты. Затем, все эти частицы вступают во вторичное взаимодействие с соседними молекулами и всеми окружающими биологическими веществами, в общем, со всем, из чего состоит организм человека. И это вторичное взаимодействие вызывает повторные реакции клеток и молекул, вызывая в тканях организма разнообразные повреждения, провоцируя частичное или полное уничтожение биологических веществ. Когда мы говорим про нейтронное облучение, ко всем эффектам еще добавится и возможность образования новых, не свойственных организму, различных радионуклидов, происходящего, в частности, за счет

поглощения прилетевших нейтронов ядрами различных химических элементов, из которых в принципе и состоит наш человеческий организм [5].

Когда излучение проникает в организм человека, все косвенные эффекты взаимодействия, приводящие к повреждениям тканей, в будущем зачастую становятся причиной различных тяжелых заболеваний. Трансформации вещества, происходящие на физическом, химическом и биологическом уровне имеют название радиационного эффекта. Который в будущем легко может стать причиной таких страшных и тяжелых заболеваний и пагубных последствий для человека, как лучевая болезнь, генные мутации, злокачественные опухоли, хромосомные aberrации, заболевания кожи, лейкозы.

Ионизация любой ткани человеческого тела зачастую приводит к полному уничтожению или частичному разрыву разнообразных связей между молекулами, а это в свою очередь обязательно приводит к последующему изменению абсолютно всей структуры химических элементов, и, как следствие, к появлению новых структур. Различные изменения в химическом составе любых молекул приводят к тотальной гибели клеток или мутации последних. В случае всего организма, как было сказано выше, взаимодействие с любым ИИ вызывает частичный или полный распад воды на так называемый атомарный водород и остаточную гидроксильную группу, которые, при соединении с любыми другими химическими элементами, а также друг с другом, в последствии образуют новые соединения, которые также могут быть губительны для всего организма и в принципе никак не будут свойственны здоровой ткани. Впоследствии, все нормальное функционирование организма будет нарушено, начнут проявляться различные губительные и неблагоприятные изменения в течении любых биохимических процессов и последующее нарушение обмена веществ.

Как было сказано выше, облучение организма может быть, как от внешних, так и от внутренних источников ИИ. В случае внешнего облучения, создаваемого искусственными или естественными источниками, наибольшую опасность представляют ИИ с большой проникающей способностью, такое как

гамма-излучение. В случае внутреннего облучения, происходящего, когда радиоактивные вещества поступают внутрь организма, поскольку ему человек будет подвергаться, пока радиоактивное вещество полностью не распадется, либо не будет выведено из организма, наоборот, наибольший вред оказывает излучение с максимальной интенсивностью и изотопы с наибольшими периодами полураспада. Самой большой опасностью, в этом случае, будет альфа-излучение. Вообще, характер и степень повреждения организма вследствие облучения определяется поглощенной энергией и временем облучения, а также видом излучения, биологическими особенностями организма, его радиочувствительностью и локализацией излучения.

При воздействии разных видов радиоактивных излучений на живые ткани определяющими являются проникающая и ионизирующая способности излучения. Проникающая способность излучения характеризуется длиной пробега l – толщиной материала, необходимой для поглощения потока. Например, длина пробега альфа-частиц в живой ткани несколько десятков микрометров, а в воздухе 8–9 см. Поэтому при внешнем облучении кожа предохраняет организм от воздействия альфа- и мягкого бета- излучения, проникающая способность которых невелика.

Разные виды излучений при одинаковых значениях поглощенной дозы вызывают разное биологическое поражение.

Заболевания, вызванные радиацией, могут быть острыми и хроническими. Острые поражения наступают при облучении большими дозами за малое время. Очень часто после выздоровления наступает раннее старение, обостряются прежние заболевания. Хронические поражения ионизирующими излучениями бывают как общими, так и местными. Развиваются они всегда в скрытой форме в результате систематического облучения дозами, превышающими предельно допустимую, полученными как при внешнем облучении, так и при попадании в организм радиоактивных веществ.

Опасность лучевого поражения в значительной степени зависит от того, какой орган подвергся облучению. По избирательной способности

накапливаться в отдельных критических органах (при внутреннем облучении) радиоактивные вещества можно разделить на три группы:

- олово, сурьма, теллур ниобий, полоний и др. распределяются в организме равномерно;
- лантан, церий, актиний, торий и др. накапливаются в основном в печени;
- уран, радий, цирконий, плутоний, стронций и др. накапливаются в скелете. [6,7]

Индивидуальная чувствительность организма сказывается при малых дозах облучения (менее 50 мЗв/год), при увеличении дозы она проявляется в меньшей степени. Организм наиболее устойчив к облучению в возрасте 25– 30 лет. Заболевание нервной системы и внутренних органов снижает сопротивляемость организма облучению. [8]

При определении доз облучения основными являются сведения о количественном содержании радиоактивных веществ в теле человека, а не данные о концентрации их в окружающей среде.

1.2 Лучевая терапия. Планирование

В настоящее время, самыми распространенными методами лечения тяжелобольных людей являются лучевая терапия, хирургическое вмешательство и лекарственная терапия. В зависимости от противопоказаний пациента и исключительности его заболевания, методы используются по одному (например, только хирургическое вмешательство), вкуче с другими методами лечения (например, хирургическое местное вмешательство и лучевая терапия тканей), совместно при проведении различных вариантов комплексного либо полноценного мультимодального лечения.

И, в соответствии с остальными методами, лучевая терапия также может применяться как в качестве самостоятельного метода лечения, так и вкуче с другими методами.

Если мы говорим про самостоятельное лечение, то случаи применения данного вида терапии можно условно разделить на 3 группы:

1. Эквивалентность результатов разных методов лечения, но в косметическом плане либо с учетом противопоказаний больного невозможно использование других методов
2. Когда она является единственным способом помочь тяжелобольным и самое главное неоперабельным пациентам со злокачественными новообразованиями.
3. При собственном отказе пациента от необходимого хирургического вмешательства либо других способов лечения. [9,10]

1.2.1 Вариативность использования лучевой терапии

В качестве самостоятельного метода лечения, лучевая терапия может быть проведена по пути радикального лечения, либо же паллиативного или симптоматического средства помощи больным онкологическими заболеваниями.

Если говорить про методы лечения при помощи лучевой терапии, то возможно ее использование по трем путям: радикальному, паллиативному и симптоматическому.

Радикальная лучевая терапия используется, если конечным результатом должно быть избавление пациента от опухоли, полное излечение пациента при помощи данной методики, уничтожение опухолей, недопущение метастазирования последних. Все это делается путем введения канцерицидной (вызывающей подавление опухоли) дозы радиации. Естественно, что для различных по определённым признакам опухолей, будь то расположение, размеры, гистологическое строение, митотическая активность и так далее, канцерицидные (tumor lethal dose, TLD) дозы будут отличаться. В качестве поддающихся лечению таким методом опухолей можно назвать рак губ, кожи, носоглотки, гортани, молочных желез, шейки матки. Естественно, успех может быть только при ранней диагностике и выявлению онкологического заболевания.

Паллиативная лучевая терапия применяется, когда опухоль нужно уменьшить и не допустить ее распространения (метастазирования), стабилизации роста последней. Чаще всего паллиативный метод лечения используется при невозможности использования вследствие различных причин радикальной терапии, и поэтому суммарная очаговая доза составляет приблизительно 2/3 от канцерицидной дозы.

Симптоматическая лучевая терапия применяется только для уменьшения клинических симптомов поражения раковыми клетками, которые способны убить пациента в короткие сроки либо к ухудшению качества жизни последнего. Такой метод используется, как правило, при невозможности операбельного либо лекарственного лечения. Например, при локализациях опухолей в мозге – для уменьшения компрессионного синдрома, при локализациях в трахее – при острой асфиксии больного вследствие очень быстрого роста опухоли и так далее. При этом, для каждого случая доза устанавливается индивидуально, и зависит кроме всего прочего еще и от эффективности снятия симптомов у больного.

Комплексная терапия направлена на одновременное использование двух методов – оперативного вмешательства и лучевой терапии. Причем лучевая терапия в этом случае может применяться как перед непосредственно оперативным вмешательством, во время проведения таковой и при послеоперационном периоде.

Комплексная лучевая терапия в сочетании с химиогормональной терапией преследует немного другую цель – сочетание этих методов нужно для усиления действия каждого из них на первичную опухоль, профилактики ее распространения и лечения уже проявившихся метастазов.

И, наконец, *мультимодальная терапия* – то есть использование всех методов лечения для оптимального лечения и усиления каждого метода терапии.[11]

1.2.2 Принципы использования лучевой терапии для лечения

Окружающие опухоль ткани должны быть облучены минимально возможным уровнем излучения, но ткани опухоли – максимальным.

Время, в которое впервые произошло облучение, играет решающую роль – чем раньше, тем больше эффект.

Чтобы благоприятный результат был достигнут, первичное облучение должно быть максимально радикально – то есть при максимально возможной, но оптимальной дозе и облучением всей опухоли в кратчайшие сроки.

Сопутствующее лечение при облучении, направленное на дезинтоксикацию, предотвращение пагубного влияния радиации на тело, снятие всех воспалительных процессов и нормализацию функционирования организма играет немаловажную роль при лечении лучевой терапией. От этого зависит общая эффективность лечения. Основными аспектами сопутствующего лечения является психологическая подготовка пациента, соблюдение диеты, потребление радиопротекторных веществ, витаминов, переливание крови, косметические процедуры и ЛФК.

При учете размеров, состояния опухоли, характера роста, метастазирования, радиорезистентности опухоли и других факторов, принимается решение о необходимой дозе – дозе облучения, которая необходима для получения положительного эффекта от облучения. В случае радикального программы лечения, доза в 60-80 Гр должна быть доставлена во всю опухоль без исключения (полное облучение опухолевого узла), но в случае зоны метастазирования или зоны лимфооттока, доза может составлять до 80% от предыдущих значений.

Что касается оптимального времени облучения, решение о времени воздействия принимается с учетом предыдущих факторов, плюс происходит учет того, насколько быстро будут регенерировать окружающие опухоль ткани, при условии, что сама опухоль прекратит неконтролируемый рост. Вообще, оптимальное время облучения – это общая продолжительность частота лечения и распределение поглощения дозы во времени (мощности дозы) [12].

Как было сказано выше, вовремя проведенное лечение имеет важную роль во всем процессе выздоровления, а также является одним из важных условий поддержания максимального радиотерапевтического интервала (отличие поражений радиацией здоровых тканей и опухоли). Кроме времени, на величину интервала можно воздействовать путем введения в опухоли радиосенсибилизаторов, а в здоровые ткани – радиопротекторов.

1.2.3 Клинико-дозиметрическое планирование

Об основном принципе лучевой терапии – то есть минимальным облучением здоровых тканей и максимальным – опухоли, было сказано в предыдущем пункте. В клинической практике, реализация этого принципа происходит за счет повышения эффективности эффекта от облучения: расчета временных и пространственных характеристик облучения, принятия решений о применении препаратов, изменяющих радиочувствительность тканей.

В соответствии с основной целью лучевой терапии, различают 5 объемов облучения: макроскопический объем GTV (gross tumor volume) – то есть объем видимой опухоли; клинический объем мишени CTV (clinical target volume) – включает в себя объем видимой опухоли и объем возможного субклинического распространения вокруг нее; планируемый объем мишени PTV (planning target volume) – включает в себя CTV плюс окружающие здоровые ткани с учетом различных пространственных характеристик опухоли (объема, размеров, расположения опухоли относительно пучка облучения; объем лечения TV (treated volume) – объем, получающий достаточную для паллиативного и радикального лечения дозу при учете вовлечения здоровых окружающих тканей; планируемый объем органа риска OAR (the organ at risk) – это включение объема только здоровых тканей и органов, попадающих под облучение.[13]

При планировании используются срезы человеческого тела, на которых обязательно должны быть обозначены контуры тела, а также все перечисленные объемы. Для всех перечисленных структур необходимо выполнить расчет гистограммы доза-объем DVH (dose volume histograms). Служба предлучевой терапии предназначена как раз для этих целей: необходимые исследования, предназначенные для комплексной топометрии онкобольных. Проводятся эти исследования при помощи различных биометрических, МРТ, УЗ, изотопных, рентгенологических методов исследования.

При проведении клинической топометрии, необходимыми расчетными и исследуемыми характеристиками являются: определение геометрических характеристик опухоли, взаимного расположения здоровых тканей относительно новообразований (синтопия).[14]

Чтобы правильно избрать наиболее эффективную программу облучения каждого больного, необходимо знать величину очага мишени, расстояние между здоровыми и зараженными органами и тканями, расстояние до наиболее важных анатомических структур (с точки зрения лучевой терапии) – так называемыми «критическими органами». Но, наиболее часто для этих целей применяется КТ – компьютерная томография.[15]

1.3 Исследования при помощи компьютерной томографии

1.3.1 Физические и технические основы томографии

Если говорить про обычную рентгенографическую съемку, то все объекты – пленка, объект и источник – остаются в покое. Если желателен томографический эффект – необходимы следующие комбинации:

1. Движение источника (рентгеновской трубки) и приемника (пленки) излучения при статике объекта съемки
2. Движение объекта и приемника при статике источника
3. Движение источника и объекта при статике приемника

В настоящее время наиболее распространены томографы, работающие по первой схеме – неподвижно лежащий пациент и вращающиеся синхронно вокруг него в разные стороны томографическая пленка (приемник) и рентгеновская трубка (источник). На рисунке 1.1 показана схема типового получения томографического изображения. [16,17]

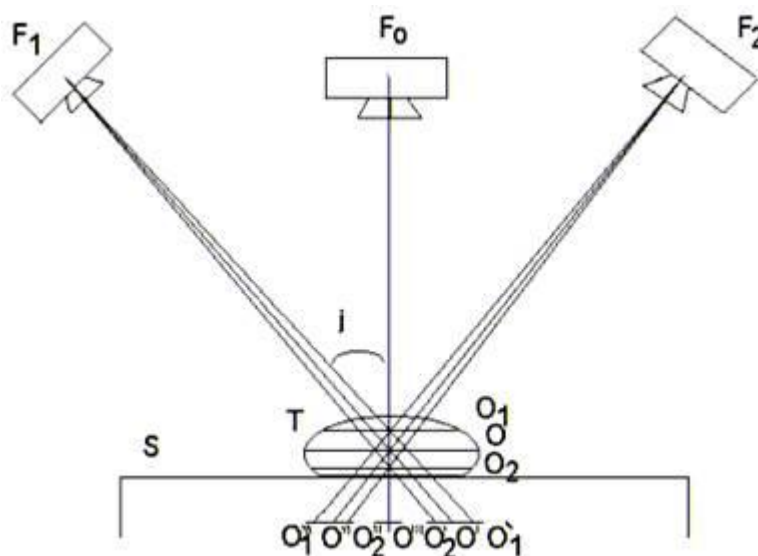


Рисунок 1.1 – Схема образования томографического изображения (послойное изображение)

Здесь F_0 , F_1 и F_2 – соответственно начальное, исходное и конечное положение рентгеновской трубки (источника); j – половина угла поворота источника вокруг объекта; S – поверхность стола; на котором расположен объект; T – объект исследования; O – исследуемая точка в слое объекта; O_1 и O_2 – точки; соответственно находящиеся выше и ниже исследуемой; O' и O'' – точки проекции слоя O при начальном и конечном положении фокуса источника; O_1' и O_1'' – точки проекции слоя O_1 при тех же условиях; O_2' и O_2'' – точки проекции слоя O_2 при тех же условиях; O''' – точки проекции всех слоев при исходном положении трубки.

В КТ-аппаратах источник и кассето-держатель с приемником жестко соединяются между собой для создания системы, свободно вращающейся над столом, а также с возможностью свободного перемещения оси вращения.

На рисунке 1.1 видно, что при перемещении источника точка O – исследуемый слой, который соответствует оси вращения системы, постоянно находится в плоскости пленки, причем на одном месте, чего не скажешь о точках O_1 и O_2 , проекции которых смещаются относительно перемещения системы. Это дает возможность получения наиболее четкого изображения исследуемого слоя, но более размытых изображений соседних слоев. Акцент на исследуемом слое очень важен для точности КТ-исследований.

На рисунке 1.1 перемещение источника и приемника носит самый простой характер – параллельное перемещение. Это самый простой и получивший наибольшее распространение способ, используемый в большинстве томографов, получивших название линейных, поскольку проекции исследуемого слоя составляют прямую линию, а проекции соседних слоев (тени размазывания) имеют прямолинейную форму.

Меньшей популярностью пользуются томографы других видов, где перемещение системы источник-приемник носит отличный от прямой линии характер – по кругу, эллиптической орбите, спирали и так далее. Но во всех случаях отношение расстояния от фокуса трубки до пленки постоянно. Такие томографы получили название нелинейного размазывания. Здесь размазывание

соседних с исследуемым слоев происходит по траектории перемещения системы источник-приемник, при этом сам исследуемый слой имеет также вид прямой линии.

Еще одним видом томографии является так называемая симультанная томография, когда источник и приемник один раз перемещаются в противоположных направлениях, но получается многослойное изображение за счет большого количества пленок в кассето-держателе, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. В таком случае, проекция первого слоя получается на первой пленке, что соответствует нахождению слоя на оси вращения системы (точка О). Последующие слои изображения получают на нижележащих пленках на том же расстоянии, на котором они расположены в кассете. Основным недостатком данной технологии является то, что тени размытия с каждым последующим слоем уменьшают контрастность исследуемых слоев, а из-за этого ухудшается восприятие исследуемой области.

Но такого недостатка лишена аксиальная КТ. Объяснение этого состоит в том, что узко коллимированный пучок из проходит лишь через ту плоскость, которая исследуется. И регистрация рассеянного на тканях излучения практически равна 0, что дает возможность исследовать ткани даже с низкой начальной контрастностью. Уменьшение регистрации вторичного излучения достигается за счет расположения коллиматоров в плоскости выхода пучка, а также в плоскости детекторов. [18]

Прекрасно известно, что при одинаковых энергиях излучения материалы с разной молекулярной массой будут по-разному поглощать ИИ, что легко регистрируется. Но, в случае человеческого тела, в котором огромное количество неомогенностей структур тканей, регистрация может быть сильно затруднена, поскольку на практике излучение может поглотиться с одинаковой интенсивностью разными по структуре тканями.

Как раз, при продольной томографии, из-за наложения теней размытия друг на друга, в отдельных участках невозможно определить плотность исследуемой ткани. Но, благодаря компьютерной обработке сигналов

детекторов, можно регистрировать вплоть до 6 млн сигналов от каждой точки с проекцией ее на соседние точки, что дает очень большую точность.

Детектирование излучения происходит в несколько этапов. Сначала, ослабленное рентгеновское излучение, попадая на детектор, вызывает возбуждение тока в точке детектирования, соответствующий интенсивности излучения. Потом, от каждого детектора, в системе сбора данных, поступающие от каждого детектора величины токов преобразуются в цифровой сигнал, усиливается и подается в ЭВМ для хранения и обработки. На выходе получается некая матрица с относительными числами, соответствующими каждой точке, в которой поглощено ИИ. И только потом, из собранных данных начинается восстановление изображения.[19]

В КТ используются матрицы 4 типов первичного изображения: 256x256, 320x320, 512x512 и 1024x1024 элементов. И, соответственно, качество конечного изображения зависит от размера этой матрицы, от количества детекторов, скорости перемещения системы источник-приемник, количества регистрируемых проекций за одно перемещение.

Но, при увеличении количества регистрируемых проекций, растет и лучевая нагрузка на пациента, что негативно сказывается на здоровье последнего, при увеличении первичной матрицы – увеличивается время обработки изображения, а также наличия мощного GPU и CPU в ЭВМ для таких объемных вычислений.

1.3.2 Этапы получения и обработки томограммы

Для того, чтобы получить необходимое изображение среза головы, необходимо выполнить следующий ряд действий:

1. Коллимирование исходного пучка для требуемой ширины среза
2. Собственно, сканирование пучком ИИ выше описанными способами (перемещением системы источник-детектор)

3. Регистрация излучения на детекторе, измерение ослабления различными тканями, фиксация результатов в ЭВМ

4. Синтезирование первичной матрицы изображения на машинном уровне

5. Расшифровка матрицы на ЭВМ и построение изображения, вывод его на дисплей.

В КТ, сканирование головы происходит по типовой схеме. Перемещение связанной системы источник-детектор происходит вокруг объекта исследования по эллиптической либо круговой траектории, вращаясь вокруг объекта по дуге в 2400° , останавливаясь и производя продольное смещение каждые 30° , для достаточной точности и качества изображения. Излучение, пролетая через вещество, поглощается им с разной интенсивностью, что регистрируется детекторами. Регистрация происходит за счет разности между показаниями контрольного детектора, расположенного на выходе источника, и детекторов, расположенных за объектом исследований. В качестве детекторов зачастую используют сцинтилляционные детекторы – кристаллы йодистого натрия, например, - которые, при поглощении излучения в определенной точке, производят вспышку света. Затем данные вспышки регистрируются и переводятся на ФЭУ – фотоэлектронный умножитель – где впоследствии преобразуются в электрический сигнал. Данный сигнал дополнительно усиливается и записывается в качестве числовых значений в память ЭВМ. Суммарный ток детекторов, переведенный в числовые значения, в каждой точке образует матрицу.[20]

Проблемой является математические преобразования сложных структур. Так, при значительных перепадах плотностей на малом участке исследований, в результате математических преобразований, происходит математическое «усреднение» плотностей, что уменьшает возможность регистрации малых по размеру очагов.

Одним из важнейших условий правильного проведения КТ исследования является неподвижность пациента (объекта исследования). При малейших

движениях возникают так называемые артефакты – искажения в конечном изображении. Так, при любом движении костная структура может получиться с полосами темного цвета с низкой плотностью (воздух), а в воздухе могут образоваться полосы белого цвета с высоким коэффициентом поглощения (костной структуры либо металлических предметов).

Чтобы получить четкие изображения патологий участков головного мозга, а также исследований полых органов (кишечник, легкие, почки), производится ввод в них контраста. Им выступает вещество, которое откладывается в определенном органе. Так, для кишечника это сульфат бария, для желчного пузыря - йодсодержащие вещества и так далее. В качестве контраста может выступать и воздух, вводимый в определенную полость. Так, при подозрении на раковую опухоль в желудке, для исследования последнего в брюшную полость вводят воздух, создавая условия искусственного пневмоперитонеума.

В случае исследования сердца и других постоянно сокращающихся органов, перед приемником излучения (пленкой) устанавливается подвижная свинцовая горизонтальная сетка. Когда происходит снимок, решетка смещается перпендикулярно сокращению органа, пока сам орган смещается во время сокращения параллельно линиям решетки. Это дает возможность получить изображение контуров органа в виде зубчатой линии. По высоте и ширине зубцов можно судить о силе сокращений исследуемого органа, и их характере. Данный способ назван рентгенокимография.

1.3.3 Индексы Хаунсфилда

Как было сказано выше, регистрация поглощения излучения ИИ в органах и тканях происходит при расчете разности между показаниями детектора, расположенного сразу после выхода рентгеновского пучка, и показаниями детекторов, расположенных за исследуемым объектом. При формировании матрицы прохождения излучения через вещества

преобразованные токи от детекторов переводятся в относительные величины. Эти величины получили название КТ-чисел, или индексов Хаунсфилда. Ниже представлены примеры расчетов.

Первый случай: гомогенный объект, монохромное рентгеновское излучение (1-3):

$$I = I_0 * e^{-\mu * d}, \quad (1)$$

$$P = \ln \frac{I_0}{I} = \mu * d, \quad (2)$$

$$\mu = \frac{1}{d} * \ln \frac{I_0}{I}. \quad (3)$$

Здесь I – интенсивность излучения после прохождения через объект, I_0 – начальная интенсивность ИИ, μ – коэффициент ослабления в веществе, d – толщина вещества, P – проекционное число.

Второй случай: негомогенный объект, монохромное рентгеновское излучение (4-5):

$$I = I_0 * e^{-\sum \mu_i d_i}, \quad (4)$$

$$P = \ln \frac{I_0}{I} = \sum \mu_i d_i. \quad (5)$$

Здесь I – интенсивность излучения после прохождения через объект, I_0 – начальная интенсивность ИИ, μ_i - коэффициент ослабления в i -том веществе, d_i – толщина i -того вещества, P – проекционное число.[21]

Во всех случаях рассчитывалась величина I – интенсивность рентгеновского излучения, проходящего через вещество. И, по результатам ее измерений, рассчитывается проекционное число, а в простейшем варианте – и коэффициент ослабления. В КТ-исследованиях, значение коэффициента ослабления заменяются по формуле пересчета (6) на значение индекса Хаунсфилда. Суть индекса Хаунсфилда – отношение коэффициентов ослабления

в любом веществе, к отношению коэффициента ослабления в воде (естественно, при одинаковой энергии первичного излучения).

Единица плотности для произвольной ткани T с коэффициентом ослабления μ_T рассчитывается следующим образом (6):

$$KT = \frac{(\mu_T - \mu_{H_2O})}{\mu_{H_2O} * 1000 \text{ HU}} \quad (6)$$

где μ_T – линейный коэффициент ослабления для рассматриваемого материала, μ_{H_2O} – линейный коэффициент ослабления для воды В этой шкале единиц воде и, следовательно, эквивалентным ей по ослаблению тканями с $\mu_T = \mu_{H_2O}$ по определению соответствуют значению 0. Воздух соответствует КТ-число, равное 1000 HU, так как с хорошим приближением $\mu_T = \mu_{\text{воздуха}} = 0$. Поскольку КТ- числа воды и воздуха не зависят от энергии рентгеновских лучей, они являются постоянными шкалы Хаунсфилда. В Таблице 1.1 показаны средние денситометрические показатели различных веществ.

Таблица 1.1 – средние денситометрические показатели различных веществ

Вещество	Индекс Хаунсфилда HU
Воздух	-1000
Жир	-100
Вода	0
Мягкие ткани	+40
Губчатая кость	+400
Кортикальная кость	+1000
Пирамида височной кости	+3000

Шкала Хаунсфилда не имеет верхних пределов. Но в медицинской практике используется ограничение диапазона от -1024 до +3071 HU.

Во многих компьютерных программах, направленных на визуализацию и редактирование полученных КТ-изображений, используется именно эта шкала вследствие ее удобства.

Таким образом, КТ-исследования являются одним из самых точных методов исследования внутренних структур человеческого тела. Естественно, он не лишен своих недостатков, таких как математическое усреднение плотностей близко расположенных структур и так далее.

1.4 Фантомы, используемые в медицине

Как было сказано выше, при проведении дозиметрического планирования, доза должна быть рассчитана максимально точно, ведь от этого зависит жизнь и дальнейшее благополучие пациента. Как известно, при расчетах дозы допустимая погрешность должна составлять не больше 3%. Основываясь только на расчетах, такой точности добиться невозможно, поэтому и используются экспериментальные измерения в дозиметрических фантомах – специальных системах, состоящих из тканеэквивалентных материалов. Еще одной положительной чертой фантомов, благодаря чему они получили настолько широкое распространение – возможность расчета глубинных распределений дозы в органах и тканях (например, при использовании метода пленочной дозиметрии). Такие измерения (на современном уровне развития науки и техники) невозможно провести непосредственно в теле пациента. [21,22]

В настоящее время, количество и разнообразие фантомов очень велико. Они могут состоять из разных материалов, таких как пластики, вода, парафин и так далее; иметь различную форму – антропоморфные, которые повторяют человеческие органы и ткани, гомогенные и гетерогенные геометрические – упрощающие анатомию человека до простых геометрических фигур. Но, вследствие определенных причин, наибольшее распространение получили так называемые водные фантомы, а также из близких к воде материалов (в частности, схожих по плотности электронов на кубический сантиметр вещества, а также по эффективному атомному номеру). В таблице 1.2 представлены примеры таких материалов, а также их физические свойства в сравнении с физическими свойствами воды, воздуха и нескольких тканей, из которых состоит человеческий организм.

Таблица 1.2 - Физические свойства тканей и фантомных материалов.

Материал	Химический состав	Плотность, (г/см ³)	Эл./см ³ (*10 ²³)	Z _{эф} (фотоэффект.)
Воздух		0,001293	3,01	7,64
Вода	H ₂ O	1	3,34	7,42
Мышцы		1	3,36	7,42
Жир		0,916	3,48	5,92
Кость		1,85	3,00	13,8
Полистерен	(C ₈ H ₈) _n	1,03-1,05	3,24	5,69
Плексиглас (perspex, licite)	(C ₅ O ₂ H ₈) _n	1,16-1,20	3,24	6,48
Полиэтилен	(CH ₂) _n	0,92	3,44	6,16
Парафин	C _n H _{2n} ⁺²	0,87-0,91	3,44	5,42
Смесь D	Параф.:60,8% Полиэт.:30,4% MgO:6,4% TiO ₂ :2,4%	0,99	3,41	7,05
Смесь M3	Параф.:76,9% MgO:22,4% CaCO ₃ :0,7%	1,06	3,34	7,05
Твердая вода	Эпоксидно-резиновая смесь	1,00	3,34	7,35

1.4.1 Виды дозиметрических фантомов

Основное применение дозиметрических фантомов состоит в помощи при изучении доз, доставляющийся в органы (органных доз), а также эффективной дозы облучения всего тела и отдельных органов и тканей, и конечно для

верификации терапевтических доз в медицинских обследованиях и при лечении.

Свойства, которыми обладают все дозиметрические фантомы:

1. Минимальные переходные эффекты между любыми секциями при просмотре их (секций) на рентгеновских изображениях
2. Полная тканеэквивалентность материалов для всего терапевтического и дозиметрического диапазона энергий поставляемого излучения.
3. Соответствие тканеэквивалентных материалов параметрам, относящимся к возрасту и полу пациентов
4. Костные имитации должны быть гомогенны
5. Возможность использования дозиметрических пленок для проведения дозиметрии.

1.4.2 Материалы для изготовления дозиметрических фантомов

Самым весомым фактором являются именно материалы для изготовления фантомов. Они должны быть идентичны для каждого из видов излучения. Но свои особенности фантомов ограничивают круг задач, которые можно решать с их помощью. В первую очередь, как было сказано выше, тканеэквивалентность фантомов тканям, из которых состоит биологическая система, должна быть такая, чтобы пространственное распределение поглощенной от излучения энергии было аналогично таковому в тканях. Соответственно, все материалы по физическим свойствам должны быть эквивалентны тканям. И, в зависимости от дозиметрических целей экспериментов, реализация тканеэквивалентности фантомов происходит двумя путями.

В случае абсолютной дозиметрии, физические взаимодействия тканеэквивалентных материалов должны приводить к такому же измеряемому сигналу, аналогичному в тканях. Например, если происходит моделирование мышечной ткани, то материал, из которого состоит фантом, должен испытывать те же физические взаимодействия с излучением, что и сама мышечная ткань.

Конечно возможно введение поправок на различие материалов, но эта работа будет неточной и очень трудоемкой.

В случае же клинической дозиметрии, главное для экспериментов – формирование такого же глубинного и пространственного излучения во всем объеме фантома, как и в тканях организма.

Для измерения базовых величин, например, как изодозовые кривые или глубинные дозовые распределения, расчет которых необходим для решения задач дозиметрического планирования, фантомы обычно заполняются либо тканеэквивалентными жидкостями (практикуется в США), либо просто водой (практикуется в Европе). Это в случае регулярных поверхностей фантомов и гомогенности ткани, в которой происходит исследование. В случае же нерегулярных поверхностей фантомов и моделирования твердых тканей организма, таких как кости, а также для создания твердых калибровочных фантомов нужно использовать различные твердые материалы, причем зачастую в одном фантоме. Например, при верификациях планов облучения, особенно в случаях использования многопольного облучения и нестандартных геометрий, необходимы твердотельные фантомы, в которых возможен расчет глубинных распределений дозы во всех материалах, из которых состоит исследуемый объект и построенный на его основе дозиметрический фантом для размещения в нем набора детекторов либо дозиметрических пленок. И именно для этих целей составляется так называемый антропоморфный фантом – твердотельный предмет, состоящий из материалов различных физических свойств, каждый из которых повторяет реальные ткани человеческого тела, и составляющие вместе повторяющий человеческую анатомию фантом, имеющий собственные негомогенности тканей, аналогичные таковым в организме.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является создание индивидуальных дозиметрических фантомов частей человеческого тела.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей.

Целевым рынком данной разработки будет являться научная, образовательная отрасль и здравоохранение. В качестве основных потребителей выбраны медицинские учреждения.

Таблица 3.1 карта сегментирования

Организации	Индивидуальные дозиметрические фантомы частей человеческого тела
Медицинские учреждения	Точное определение дозы поглощенного пациентом излучения при проведении лучевой терапии

Из карты сегментирования видно, что в создании индивидуальных дозиметрических фантомов следует ориентироваться на медицинские учреждения и научно-исследовательские учреждения, проводящие эксперименты, связанные определением дозы, поступающей в организм человека.

3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 3.2. А – индивидуальные дозиметрические фантомы частей тела человека, A_{kl} – конкурентные разработки. В качестве конкурентной разработки был принят: A_{kl} – «Alderson-Rando Phantom» дозиметрический фантом тела человека.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum B_i * B_i, \quad (7)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		A	A _{к1}	K	K _{к1}
Технические характеристики оценки ресурсоэффективности					
Время создания фантома	0,2	5	4	1	0,8
Точность измерения	0,23	4	5	0,92	1,15
Возможность использования в разных отраслях	0,1	5	5	0,5	0,5
Индивидуализация	0,14	5	2	0,7	0,28
Простота эксплуатации	0,05	3	5	0,15	0,25
Используемые материалы	0,09	4	5	0,36	0,45
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	0,25	0,25
Финансирование научной разработки	0,07	3	5	0,21	0,35
Цена	0,07	5	3	0,35	0,21
Итог	1	39	39	4,44	4,24

Из данного анализа видно, что разработанный индивидуальный дозиметрический фантом имеет преимущество над конкурентной разработкой в цене, скорости создания фантома, и самое главное – в индивидуализации фантома. Однако проблемами являются слабое финансирование научной разработки, а также простота создания и эксплуатации готовых изделий.

3.3 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.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

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

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

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

В таблице 3.3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 3.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Новизна идеи научного исследования. С2. Скорость создания фантома. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Индивидуальность фантомов.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложность создания фантомов. Сл2. Отсутствие осведомленности об исследованиях данного типа.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Совершенствование технологии приведет к дополнительному спросу НИИ и медицинских учреждений. В3. Высокая стоимость аналогичных изделий	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Рост спроса на исследования данного типа за счет распространения среди различных медицинских организаций, НИИ и университетов. 2. Приоритет к данному исследованию по сравнению с конкурентами за счет осуществления должной скорости создания фантомов. 3. Возможность индивидуализации фантомов, чего нет у конкурентов	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Распространение информации об исследованиях 2. Упрощение способа создания позволит увеличить спрос

Угрозы:	Результаты анализа	Результаты анализа
У1. Развитая конкуренция технологий производства	интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: Более низкая стоимость производства, а также скорость создания и индивидуализация позволят созданным фантомам быть востребованным в отечественных учреждениях и на рынке товаров.	интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: Следует упростить технологию создания фантомов.
У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.		
У3. Отсутствие финансирования со стороны, как университета, так и государства.		

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 исследования.

3.4 Планирование научно-исследовательской работы

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении магистерской диссертации приведен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Тр, раб.дн.	Дата начала и окончания работ	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	1	Разработка ТЗ магистерской диссертации	4	4.02.2019 – 7.02.2019	Руководитель
	2	Составление и утверждение ТЗ	2	7.02.2019 – 8.02.2019	Руководитель, магистрант
Выбор направления исследования	3	Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	17	8.02.2019 – 28.02.2019	Магистрант
	4	Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	4	1.03.2019 – 5.03.2019	Руководитель, Магистрант
Теоретические исследования	5	Поиск способа создания моделей человеческого тела на основе томографических данных	11	5.03.2019 – 19.03.2019	Магистрант

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Тр, раб.дн.	Дата начала и окончания работ	Исполнитель
Создание моделей человеческого тела	6	Пробное создание модели головы человека на основе томографических данных	12	19.03.2019 – 1.04.2018	Магистрант
	7	Создание модели верхней конечности и части груди человека на основе томографических данных	8	1.04.2019- 9.04.2019	Магистрант
	8	Создание модели голени человека на основе томографических данных	5	9.04.2019- 13.04.2019	Магистрант
	9	Создание модели части голени человека для печати на 3D-принтере	2	13.04.2019- 15.04.2019	Магистрант
	10	Создание модели среза голени человека для печати разработанными пластиками	2	15.04.2019- 16.04.2019	Магистрант

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Тр, раб.дн.	Дата начала и окончания работ	Исполнитель
Печать моделей	11	Печать на 3D-принтере части голени человека	3	18.04.2019 – 20.04.2019	Руководитель, магистрант
	12	Печать среза голени человека на 3D-принтере разработанными пластиками	2	20.04.2019 – 22.04.2019	Руководитель, магистрант
Проведение исследований	13	Проведение КТ-исследования среза голени человека	3	24.04.2019 – 26.04.2019	Руководитель, магистрант
	14	Анализ полученных данных	12	26.04.2019 – 15.05.2019	Руководитель
Оформление отчета по магистерской диссертации	15	Оформление пояснительной записки	10	15.05.2019 – 25.05.2019	Магистрант
	16	Подготовка к защите магистерской диссертации	8	25.05.2019 – 3.06.2019	Магистрант

3.4.1 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации будут описаны изначальные цели и содержание. Показаны внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная

информация закрепляется в Уставе проекта. Основные моменты устава проекта будут описаны ниже по пунктам. 1) Цели и результаты проекта

Данные раздела сведены и представлены в таблице 3.5 и таблице 3.6.

Таблица 3.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ ИЯТШ	Создание индивидуальных дозиметрических фантомов

Таблица 3.6 – ожидаемые результаты проекта

Цели проекта:	Разработка способа моделирования частей человеческого тела и печати на 3D-принтере индивидуальных дозиметрических фантомов
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка надежного способа создания индивидуальных дозиметрических фантомов
Критерии приемки результата проекта:	Эквивалентность фантома и тела человека при КТ-исследовании
Требования к результату проекта:	Требование:
	Быстрая печать фантома
	Тканеэквивалентность фантома

2) Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определены роли каждого участника проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и трудозатраты в проекте. Данные по организационной структуре описаны в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Организационная структура проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, часы.
1	С.Г. Стучебров НИ ТПУ, Доцент ИЯТШ ТПУ	Руководитель	Руководить, координировать, консультировать	90
2	А.Э. Прокопьев, Магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение работ по проекту	534
ИТОГО:				624

3) Ограничения и допущения проекта Все имеющиеся данные по ограничениям и допущениям описаны и сведены в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	171739,68 рублей
2. Источник финансирования	НИ ТПУ
3. Сроки проекта:	4.02.2019-3.06.2019
4. Дата утверждения плана управления проектом	4.02.2019
5. Дата завершения проекта	3.06.2019

3.4.2 Иерархическая структура работ проекта

В процессе создания иерархической структуры работ проекта (рис. 3.1) структурированы и определены содержание всего проекта. Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ: разделение всего объёма

запланированной работы, на мелкие операции, чтобы они соответствовали уровню, при котором способ выполнения запланированных действий был бы ясен, а операции были бы оценены и спланированы.

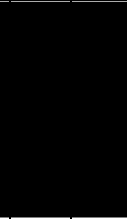
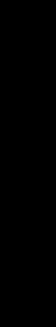


Рисунок 3.1 – Иерархическая структура работ

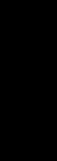
3.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы представлен ниже в таблице 3.9

Таблица 3.9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исп	T _{кi}	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Разработка ТЗ магистерской диссертации	Р	4														
Составление и утверждение ТЗ	Р,М	2														
Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	М	21														
Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	Р,М	5														
Поиск способа создания моделей человеческого тела на основе томографических данных	М	15														
Пробное создание модели головы человека на основе томографических данных	М	14														

Вид работ	Исп	T _{кi}	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Создание модели верхней конечности и части груди человека на основе томографических данных	М	9														
Создание модели голени человека на основе томографических данных	М	5														
Создание модели части голени человека для печати на 3D-принтере	М	3														
Создание модели среза голени человека для печати разработанными пластиками	М	2														
Печать на 3D-принтере части голени человека	Р,М	3														
Печать среза голени человека на 3D-принтере разработанными пластиками	Р,М	3														

Вид работ	Исп	T _{кi}	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Проведение КТ-исследования среза голени человека	Р,М	3														
Анализ полученных данных	Р	20														
Оформление пояснительной записки	М	11														
Подготовка к защите магистерской диссертации	М	10														

 - магистрант;  - руководитель

Как видно из календарного рейтинг плана, время, отведенное на выполнение магистерской работы, было распределено равномерно, это позволило упорядочить и облегчить процесс подготовки магистерской работы.

3.5 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во, граммов	Цена за см ³ , руб	Сумма , руб
Пластик для печати	PLA	82,14	15	1232,1
Всего за материалы				1232,1
Итого по статье C_m				1232,1

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} \quad (8)$$

где $C_{\text{эл}}$ — тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);
 P — мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ — время использования оборудования, ч.

Для компьютера:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,35 \cdot 534 = 1084,02 \quad (9)$$

где $F_{\text{об}}$ — время использования ЭВМ, равное 534 ч.

Для 3D-принтера (мощность 350 Вт, использование 2 часа на каждое изделие, то есть 4 часа):

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,35 \cdot 20 = 8,12 \quad (10)$$

Затраты на электроэнергию составили 1092,14 рублей.

3.5.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится персональный компьютер (1 шт.), стоимость которого составляет 35000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет, личный ноутбук стоимостью 30000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет, 3D-принтер, стоимость которого составляет 73900 рублей, назначенный срок службы – 10 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}}}{T}, \quad (11)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{амортПК}} = \frac{35000}{1825} = 19,18 \frac{\text{руб}}{\text{дн}} \quad (12)$$

Оборудование использовалось в течение 6 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{амортПК}} = \frac{19,18}{24} \cdot 6 = 4,8 \text{ руб} \quad (13)$$

$$C_{\text{амортНБ}} = \frac{35000}{1825} = 19,18 \frac{\text{руб}}{\text{дн}} \quad (14)$$

Оборудование использовалось в течение 528 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт}_{\text{НБ}}} = \frac{19,18}{24} \cdot 528 = 2531,76 \text{ руб} \quad (15)$$

$$C_{\text{аморт}_{\text{ЗД}}} = \frac{73900}{3650} = 20,25 \frac{\text{руб}}{\text{дн}} \quad (16)$$

Оборудование использовалось в течение 6 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт}_{\text{ЗД}}} = \frac{20,25}{24} \cdot 6 = 5,06 \text{ руб} \quad (17)$$

3.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

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

$$З_{\text{ЗП}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (18)$$

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

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{дн}} + T_p \quad (19)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{н}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (20)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; • при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.11)

Таблица 3.11 – Баланс рабочего времени

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

Месячный оклад работника с учетом районного коэффициента для Томска $k_p = 1,3$, вычисляется:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot 1,3 \quad (21)$$

Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 33664 руб./месяц, проводится следующим образом:

- находим месячный должностной оклад:

$$З_{\text{м}} = 33664 \cdot 1,3 = 46763,2 \text{ руб./месяц}; \quad (22)$$

- рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$З_{\text{дн}} = \frac{46763,2 \cdot 10,4}{251} = 1937,6 \text{ руб./день}; \quad (23)$$

- рассчитываем основную заработную плату:

$$З_{\text{осн}} = 1937,6 \cdot 15 = 29064 \text{ руб.} \quad (24)$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы руководителя и магистранта.

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	k_p	$З_{\text{м}}$, руб./месяц	$З_{\text{дн}}$ руб./день	T_p , раб. дн.	$З_{\text{осн.}}$, руб.	$З_{\text{доп.}}$, руб.
Руководитель	33664	1,3	46763,2	1937,6	15	29063,98	5812,8
Магистрант	12663	1,3	16461,9	682,09	89	60705,71	12141,14
Итого $З_{\text{осн.}}$, $З_{\text{доп}}$						89769,69	17953,94
Итого $З_{\text{зп}}$							107723,63

3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (25)$$

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

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ [28] установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году [28], водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{внеб} = k_{пф} + k_c + k_{пн} \quad (26)$$

где $k_{пф}$ - коэффициент отчисления в пенсионный фонд; k_c - коэффициент отчисления страховых взносов; $k_{пн}$ - коэффициент отчисления в подоходный налог.

$$k_{внеб} = 0,271 \quad (27)$$

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

$$З_{внеб} = 0,271 * 107723,63 = 29193,10 \text{ руб.} \quad (28)$$

Таблица 3.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель +Магистрант
Основная заработная плата, руб.	87769,69
Дополнительная заработная плата, руб	17953,94
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Сумма отчислений	29193,10

3.5.5 Затраты на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. В данной выпускной квалификационной работе затраты на командировки равны нулю.

3.5.6 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

- 1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями.
- 2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским)

договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. В данной работе затраты по данной статье расходов отсутствуют.

3.5.7 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 хозяйинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров. 30% от 107723,63 (32317,09 рублей)

3.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	1232,1
2. Затраты на спец. оборудование	2541,62
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	87769,69
4. Отчисления во внебюджетные фонды	29193,10
5. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17953,94
6. Затраты на научные и производственные командировки	-
7. Прочие прямые расходы	1092,14
8. Накладные расходы	32317,09
Бюджет затрат НТИ	171739,68

Из таблицы видно, что итоговая стоимость проекта будет составлять порядка 171739,68 рублей, основной вклад в итоговую сумму бюджета вносят затраты на заработную плату.

3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу 3.14.

Таблица 3.14 – Реестр рисков проекта

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
Поломка оборудования для печати	Выход из строя оборудования	3	4	высокий	Модернизация оборудования	Деформация оборудования печати
Отсутствие спроса	Невостребованность у потребителей	3	3	средний	Реклама изделий	Более раскрученные конкуренты
Возникновение непредсказуемых ситуаций	Перепад напряжения, Стихийные бедствия	3	5	средний	Контроль во время эксплуатации и оборудования и разработки моделей	Выход из строя электрической части прибора, стихийные бедствия

3.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме вышеперечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 3.15). В качестве аналога был взят дозиметрический фантом Alderson-Rando Phantom.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в выпускной квалификационной работе магистра технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (29)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{\Phi}^p = \frac{172749,28}{2000000} = 0,086 \quad (30)$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{2000000}{2000000} = 1 \quad (31)$$

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_n^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (32)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 3.15 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Alderson- Rando Phantom
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4
Помехоустойчивость	0,15	4	4
Энергосбережение	0,2	5	4
Надежность	0,25	5	5
Материалоемкость	0,15	4	5
ИТОГО:	1	4,7	4,5

$$I_m^p = 5 * 0,1 + 5 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,2 + 5 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,7 \quad (33)$$

$$I_m^a = 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,2 + 5 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,5 \quad (34)$$

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} \quad (35)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,7}{0,086} = 54,651 \quad (36)$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{4,5}{1} = 4,5 \quad (37)$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (38)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{54,651}{4,5} = 12,1 \quad (39)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{мэ}}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{мэ}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Данные таблицы 3.15 показывают, что текущий вариант исполнения проекта имеет свои недостатки, но, несмотря на это, он имеет хорошие показатели финансовой и ресурсной эффективности.

4 Социальная ответственность

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

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [29].

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

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

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические [30]. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, ИЯТШ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.
Работа на 3D-принтере	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность
	—	Химическая безопасность	ГН 2.2.5.3532-18 Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

На магистра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

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

- психофизиологические.

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

При работе с оборудованием 3D-печати, кроме выше перечисленных, имеются следующие вредные факторы:

При нагреве пластика образуются небольшое количество паров акрилонитрила. 3D принтер в среднем выбрасывает до 200 млн ультрамелких частиц этого вещества в минуту. Оседая в легких, частицы пластика могут привести к самым тяжелым последствиям – раку легких, астме.

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

4.2.1 Организационные мероприятия

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

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

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

4.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 4.1.

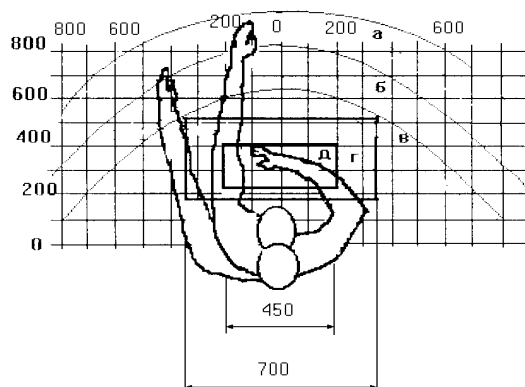


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура — в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);

Документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони — в (слева) — литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола — литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 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 также 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).

4.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [31] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – 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

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность — 40 %,

скорость движения воздуха — 0,1 м/с, температура летом — 20 – 25 °С, зимой — 13 – 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

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

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

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

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 [31] 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.

4.4 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия при работе на 3D-принтере

Был проведен анализ технологического процесса 3D-печати. Общими опасностями при работе и обслуживании являются:

- получение ожогов;
- электротравмы;
- выделение вредных веществ.
- движущиеся детали.

1. Нужно помнить, что принцип работы FDM-принтера основан на плавлении пластиковой нити. Таким образом, нагревающие элементы устройства представляют большую опасность при прикосновении.

В тех ситуациях, когда требуется непосредственный контакт с нагретыми поверхностями, например, при прочистке сопла, необходимо пользоваться специальными инструментами и средствами индивидуальной защиты рук, а также соблюдать крайнюю осторожность и осмотрительность.

2. Как и любое устройство, работающее от сети, 3D-принтер может нанести человеку электротравму. Естественно, при правильной эксплуатации прибора этого не случится. Даже в случае нарушения заземления напряжение в открытых частях 3D-принтера обычно не превысит 12-24 В, что считается безопасным и причинит только легкий шок.

Также нельзя не упомянуть о рисках короткого замыкания. Вероятность такого события в 3D-принтере, как и в любом другом бытовом приборе, невелика.

3. 3D-принтеры имеют очень много движущихся частей. Это двигатели, шкивы, резьбовые стержни, каретка и вентиляторы. Не допускайте контакт с движущимися частями принтера во время его работы. Не лезьте внутрь и не пытайтесь самостоятельно подправить сползающий объект или подтолкнуть каретку вручную.

Если 3D-принтер открытого типа, то работать с ним необходимо в плотно прилегающей одежде, а также следить за своей прической, чтобы минимизировать риск наматывания ткани и волос на движущиеся детали.

4. Место проведения работ на 3D принтере должно хорошо вентилироваться.

Во время работы устройства лучше выйти из комнаты. Если это по какой-то причине невозможно, желательно воспользоваться респиратором с угольным фильтром. Предпочтительнее использовать закрытые принтеры с системой фильтрации. Они более безопасны, но свойства используемых материалов полностью не изучены, поэтому не стоит пренебрегать дополнительными мерами безопасности и в работе с ними.

Согласно [32], вещества, выделяемые при работе на 3D-принтере, перечислены ниже.

Вещества, содержащиеся в ABS пластике и каковы их свойства:

- Бутадиен – газ с характерным неприятным запахом, класс опасности 4, ПДК=100мг/м³. Данный газ опасности для организма практически не представляет.

- Стирол – ПДК = 30 мг/м³, 2 класс опасности. Бесцветная жидкость с резким запахом, практически нерастворима в воде, летуча. Вызывает комплексные поражения нервной системы, раздражения слизистых.

- Акрилонитрил – летучая жидкость с резким запахом миндаля, класс опасности 2, ПДК= 0,5 мг/м³. При попадании в организм вызывает головную боль, головокружение, слабость, тошноту, рвоту, потливость, понижение температуры тела, судороги, потерю сознания, смерть. Растворима в воде.

4.5 Электробезопасность

Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей) [33].

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно с [34], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

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

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

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

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

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

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

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

4.7 Инструкция по охране труда при работе на 3D-принтере

4.7.1 Общие требования

3D-принтер является сложным высокотехнологичным устройством, поэтому запрещается его использование неквалифицированными людьми. К самостоятельной работе на 3D-принтере допускаются лица, прошедшие специальную подготовку.

Работа принтера сопряжена с высокими температурами, в принтере задействованы перемещающиеся и вращающиеся механизмы, поэтому не допускается самостоятельное использование устройства несовершеннолетними.

Принтер должен стоять на ровной устойчивой поверхности, вдали от легковоспламеняющихся веществ, открытого огня, источников воды, увлажнителей и т.п.

Не хранить и не эксплуатировать 3D-принтеры в пыльной, грязной, физически и химически агрессивных средах.

Не подвергать принтер воздействию сильных магнитных и электрических полей.

Не использовать устройство под открытым небом.

Не приближаться к принтеру с длинными локами одежды, длинными распущенными волосами, наушниками и другими свободно свисающими предметами во избежание их попадания в движущиеся и вращающиеся элементы принтеры.

3D-принтер не должен использоваться, если он падал, если имеются видимые повреждения, в случае механических сбоев в работе. Не разбирать прибор: его необходимо доставить для осмотра в авторизованный сервисный центр во избежание опасности.

Ремонт электрического оборудования должен осуществляться специалистом в уполномоченном сервисном центре. Ремонт, выполненный ненадлежащим образом, может привести к серьезным последствиям.

Лица, работающие на 3D-принтере, обязаны соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

4.7.2 Требования безопасности перед началом работы

- Тщательно проверить помещение для работы на 3D-принтере.
- Осмотреть и привести в порядок рабочее место, убрать все лишнее.
- Провести осмотр 3D-принтера, убедиться в отсутствии внешних повреждений, целостности подводящего электрокабеля и электровилки.
- Использовать 3D-принтер исключительно в соответствии с инструкцией.
- Использовать 3D-принтер только в стандартных сетях переменного тока 220В розетками с заземлением. Если используется удлинитель, необходимо
 - убедиться, что его розетка двухполосная 10А с заземляющим проводом.
- Подключать PrintBox3D к сети переменного тока через качественный сетевой фильтр с функцией стабилизации напряжения или блок беспроводного питания, так как при скачках напряжения процесс печати может прерваться без возможности его возобновления.
- Не использовать принтер с поврежденным или не оригинальным кабелем питания.
- При работе с 3D-принтером необходимо соблюдать государственные стандарты по охране и безопасности труда, установленные для данного устройства.

4.7.3 Требования безопасности во время работы

- Подключить 3D-принтер к электросети и проверить его нормальную работу.
- Не подключать 3D-принтер к сети мокрыми и влажными руками.
- Соблюдать правила 3D-принтере, не допускать попадания на него влаги.
- Следить за исправной работой 3D-принтера, целостностью изоляции подводящего электрокабеля.
- Не наклоняться над работающим 3D-принтером.
- Запрещается ставить на поверхность и внутрь 3D-принтера любые посторонние предметы.
- Не оставлять включенный в электросеть и работающий 3D-принтер без присмотра.
- Не прикасайтесь к принтеру во время печати, а также при нагретом экструдере и печатающей платформе во избежание ожогов и повреждения кожи. Печатающий стол во время печати может достигать температуры 150С, экструдер (печатающая головка) — 280С, а скорость перемещения печатающей головки — 150 мм/сек.
- При включенном питании запрещается извлекать кабель питания из принтера или розетки. Предварительно отключите питание переключателем на задней панели устройства.
- Во время работы не касайтесь вентиляторов принтера во избежание физических травм и повреждений механизмов устройства.
- Запрещается нагревать экструдер свыше 280С, платформу — свыше 150С.
- Запрещается извлекать любые провода и датчики принтера.

Список публикаций студента

1. Прокопьев А.Э., Красных А.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Разработка трёхмерной модели головы человека на основе томографических данных в формате DICOM // IX Школа-конференция молодых атомщиков Сибири, Сборник тезисов и докладов. Томск: Дельтаплан, 2018. С. 89-90.

2. Прокопьев А.Э., Красных А.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Создание трёхмерной stl модели верхней конечности человека на основе томографических данных // Фундаментальная и клиническая онкология: достижения и перспективы развития. Томск: Издательство Томского Университета, 2019. С. 183-185.

Список используемых источников

1. Bernier J., Hall E. J., Giaccia A. Radiation oncology: a century of achievements // Nature Reviews Cancer. 2004. Vol. 4. №. 9. P. 737.
2. Gerber D. E., Chan T. A. Recent advances in radiation therapy // Am Fam Physician. 2008. Vol. 78. №. 11. P. 1254-1262.
3. Gribova O. V. et al. Neutron therapy for salivary and thyroid gland cancer // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2016. Vol. 1760. №. 1. P. 020021.
4. Трофимова О.П., Ткачев С.И., Юрьева Т.В. Прошлые и настоящее лучевой терапии в онкологии // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. 2013. №4. С. 355-364.
5. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите [Текст]: / Беспалов В.И.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Кафедра "Прикладная физика". - 4-е изд. - Томск: Издательство Томского Политехнического Университета, 2012. - 508 с.
6. Дияковская А. В. Телекова Л. Р. Влияние радиации на человека и окружающую среду // Наука, образование и культура. 2018. С. 5-7.
7. Кузин А.М. Проблемы современной радиобиологии. М.: Знание, 1987. 64 с.
8. Егранов А.В. Методы экспериментальной физики конденсированного состояния, Часть 2, Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Иркутск: Изд-во Иркутский ун-т, 2013.
9. Овчинников В.А., Угляница К.Н., Волков В.Н. Современные методы лечения онкологических больных // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2010. №1. С. 93-97.
10. Климанов В.А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии. Часть 1. Радиобиологические основы лучевой терапии. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование дистанционной лучевой терапии. М: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2011.

11. Лебеденко И.М., Журов Ю.В., Быкова Ю.Б., Романов Д.С., Каледин Р. Планирование лучевой терапии на современном этапе // Материалы I Всероссийского конгресса РАТРО. «Новые технологии в лучевой терапии и ядерной медицине. Перспективы развития». 2017.
12. Артёмова Н.А., Минайло И.И., Страх А.Г., Фидарова Е.Ф., Казак Е.А. Объемное планирование лучевой терапии // Медицинские новости. 2005. №11. С. 5-10.
13. Сдвижков А.М., Юдин А.Л., Кожанов Л.Г., Сологубова Г.Ф., Кулагин А.Л. Мультиспиральная компьютерная томография с трехмерным 3д-моделированием в диагностике и лечении онкологических больных // Вестник Московского Онкологического Общества. 2009. №3. С. 5-12.
14. Силантьева Н. К., Агабабян Т. А., Скоропад В. Ю., Гришина О Г. Задачи компьютерной томографии при обследовании больных раком желудка в онкорadiологической клинике // Сибирский клинический журнал. 2015. №5. С. 5-13.
15. Верещагин Н.В., Брагина Л.К., Вавилов С.Б., Левина Г.Я. Компьютерная томография мозга - М.: Медицина, 1986.-256 с.
16. Платонов Ф.А., Кларов Л.А. Компьютерная (КТ) или магнитно-резонансная (МРТ) томография? // Медицина и здоровье. 2017. №32. С. 28-31.
17. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.
18. Калачева Э. И., Байков Д. Э., Павлов В. Н., Ахмадеева Л. Р. Аксиальная компьютерная томография в диагностике новообразований предстательной железы // Здоровье и образование в XXI веке. 2016. №18-2. С. 52-59.
19. Балицкая Н.В. Мультиспиральная компьютерная томография как метод лучевой диагностики травм таза // Сибирский медицинский журнал. 2012. №1. С. 16-20.

20. Щеголькова А.С. Применение серой шкалы для сегментации результатов компьютерной рентгеновской томографии // Современные тенденции развития науки и технологий . 2016. №10-1. С. 135-138.

21. Елизарова М. В., Миронов В. О. Оценка погрешности сглаживания дозиметрических данных при инсталляции систем планирования дистанционной лучевой терапии // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2011. №1. С. 82-87.

22. Захаров И.Д., Петрова П.В. Медицинский фантом // Материалы XIX международного конгресса "Здоровье и образование в XXI веке". 2017. №19[12]. С. 126-127.

23. SOMATOM Emotion 6/16 // EuroMed URL: <http://euromedcompany.ru/catalog/category/product/6-16-32-srezovie/145-siemens-somatom-emotion-16-srezovoy/> (дата обращения: 01.06.2019).

24. InVesalius 3 [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.cti.gov.br/pt-br/invesalius>. 29.01.2019

25. Meshmixer [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.meshmixer.com/>. 29.01.2019

26. Прокопьев А.Э., Красных А.А., Милойчикова И.А., Черепенников Ю.М., Стучебров С.Г. Создание трёхмерной stl модели верхней конечности человека на основе томографических данных // Материалы научно-практической конференции "Фундаментальная и клиническая онкология: достижения и перспективы развития". 2019.

27. Ultimaker 3 // Ultimaker URL: <https://ultimaker.ru/ultimaker-3/> (дата обращения: 23.05.2019).

28. Закон Российской Федерации "О страховых взносах в пенсионный фонд Российской Федерации, фонд социального страхования Российской Федерации, федеральный фонд обязательного Медицинского страхования" от 2009 № 212-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2009 г. с изм. и допол. в ред. от 19.12.2016 пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ

29. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999–24–07.

30. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.003-74; введ. 2017-03-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2017.

31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы: Санитарноэпидемиологические правила и нормативы. – М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 54 с.

32. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.3532-18. - М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2018. - 268 с.

33. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Взамен ГОСТ Р 12.1.019-2009; введ. 2019-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2019.

34. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.

Приложение I
(справочное)

Creation of volumetric models of biological tissues based on tomographic data

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM74	Прокопьев Александр Эдуардович		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Шайкина О.И.			

Abstract

In modern medical practice the special dosimetry phantoms are used to plan radiotherapy sessions and verify the dose that should be delivered to a tumor with high accuracy. To verify complex irradiation plans, it is necessary to develop a human heterogeneous phantom that simulates the interaction of various tissues with ionizing radiation. The work describes the process of creating a 3D-model using computed tomography data. A model of the human arm which contains a tumor was developed using InVesalius 3 software package with further corrections by means of Adobe Meshmixer CAD system.

Key words: verification of radiotherapy plans; dosimetry phantoms; tomography; 3D-printing; DICOM, STL model

Contents

Abstract	117
1 Technology of 3D-printing	119
1.1 Benefits	121
2 Types of 3d-printers	123
2.1 Stereolithography (SLA, SL)	123
2.2 Photopolymer jetting (PPJ)	123
2.3 Powder binder printers (PBP)	124
2.4 Selective laser sintering (SLS)	125
2.5 Fused deposition modelling (FDM)	126
3 Types of 3DP filament	128
3.1 Materials properties	130
3.1.1 Chemical properties	130
3.1.2 Physical and mechanical properties	130
References	132

1 Technology of 3D-printing

3D printing or additive manufacturing is a process of making a three-dimensional solid object of virtually any shape from a digital model. Successive layers of material are laid down in different shapes. Traditional machining techniques rely on the removal of material by methods such as cutting or drilling whereas 3D printing layers are added successively. Thus it uses a layering technique where an object is constructed layer by layer until the complete object is manufactured. In this way 3D printing moves us away from the mass production line to a one-off customizable production. You can literally make any object from a house to a bar of chocolate, so to say.

The initial 3D printers were used in the 1980s where a pattern submerged in a liquid polymer would be traced by a computer. The traced pattern hardened into a layer, thanks to the laser, and that was how you built an object out of plastic. Since then tremendous progress has been made in additive manufacturing such that material extrusion is now used. By this method, an object is built out of matter that is pushed from a mechanical head like the way an inkjet printers extrudes ink onto paper[1,2].

Interestingly, the cost of acquiring 3D printers has been decreasing with the advancement of technology. Domestic usage of 3D printers has been on the rise with the average cost ranging from a few hundreds of dollars going up. However, one major drawback is that it requires expertise to print 3D objects. In fact, it requires a competent person to make both the digital file and the final printing. Commercial usage of 3D printers has been on the increase too in sectors such as the automotive industry and aero-space engineering. Spare parts, for example, are being made in the automotive and aero-space industry leading to improved economies of scale. 3D printing is changing how the production line in industries works which made some analysts to dub the emergence of 3D printers as the second Industrial revolution.

3D printing has also had a tremendous usage in the field of medicine; from the field of Bionics, to Prosthetics to Digital Dentistry. Inevitably, this is positively affecting and changing every aspect of medicine. Most of the work is still in its

exploratory phase but pundits predict medicine of tomorrow is going to be revolutionized by the integration of 3D printing as a tool.

As shown in figure I.1, 3D printing starts by making a virtual design of the object you want to create. The virtual design is used as a template of the physical object to be created. This virtual design can be made using a 3D modelling program such as CAD (Computer Aided Design) to create a design from scratch. Alternatively a 3D scanner can be used for an existing object. This scanner makes a 3D digital copy of an object and puts it into a 3D modelling program.



Figure I.1: 3D objects and digital model

The model is then sliced into hundreds or thousands of horizontal layers in preparation for printing. This prepared file is thus uploaded in the 3D printer, which will see the printer creating the object layer by layer as shown in figure I.2 below.



Figure I.2: 3D printing layer by layer

Here, every slice (2D image) is read by the printer and proceeds to create the object layer by layer and the resulting object has no sign of layering visible, but a 3 dimensional structure.[1]

1.1 Benefits

3-D Printing has proven to have the following advantages:

1) Lower Cost

In China they were able to construct 10 houses at less than \$5000 per house. Construction of a similar house costs much more than the stipulated price.

2) Time

Printing of the 3D object can be done directly, differing from the traditional manufacturing where you had to join different components to form the final product. Three-dimensional printing allows businesses to construct working models in just hours instead of days or weeks.

3) Efficiency

Generating prototypes with 3D printers is much easier and faster with 3D printing technology.

4) Flexible

Different materials can be used in the 3 D models. This makes it very easy to create construction models or prototypes for a wide variety of projects within many industries.

5) Durable products produced

The objects do not absorb moisture or warp over time making them last for longer.

6) Quality

Products with an excellent surface finish are produced.

7) Functional Models

Real live functional models can be produced as opposed to working with paper of digital models. More realistic products are produced.[2]

2 Types of 3d-printers

Many different printing technologies exist, each with their own advantages and disadvantages. Unfortunately, a common feature of the more functional and productive equipment is the high cost of the equipment, the materials, maintenance, and repair, often accompanied by a need for messy cleaning, difficult post-processing, and sometimes onerous health and safety concerns.[3]

2.1 Stereolithography (SLA, SL)

A stereolithography apparatus uses a scanning laser to build parts one layer at a time, in a vat of light-cured photopolymer resin. Each layer is traced-out by the laser on the surface of the liquid resin, at which point a ‘build platform’ descends, and another layer of resin is wiped over the surface, and then the process will be repeated.

Supports must be generated in the CAD software, and printed to resist the wiping action and to resist gravity, and must later be removed from the finished product. Post-processing involves removal of excess resin and a hardening process in a UV oven.

The process is costly when used for large objects, but this technology is commonly used for the industrial production of 3D printed implant drill guides.[3]

2.2 Photopolymer jetting (PPJ)

This technology uses light cured resin materials and print heads rather like those found in an inkjet printer (but considerably more costly), to lay down layers of photopolymer which are light cured with each pass of the print head.

The technology may use a stationary platform and dynamic print head or a stationary print head and dynamic platform. A support structure is laid down in a friable support material.

A variety of materials may be printed including resins and waxes for casting, as well as some silicone-like rubber materials. Complex geometry and very fine detail is possible – as little as 16 microns resolution.

The drawback is that the equipment, and materials are costly to purchase and run, and the support materials can be tenacious and rather unpleasant to remove. They are useful for printing dental or anatomical study models, but these are expensive when produced in this way. Implant drill guides may be quickly and cheaply produced with this technology as they are less bulky. A particular advantage of this technology is that the use of multiple print heads allows simultaneous printing with different materials, and graduated mixtures of materials, makes it possible to vary the properties of the printed object, which may for example have flexible and rigid parts, for the production of indirect orthodontic bracket splints. [3]

2.3 Powder binder printers (PBP)

These apparatus use a modified inkjet head to print using, what is essentially, liquid droplets to infiltrate a layer of powder, layer by layer. Typically, a pigmented liquid, which is mostly water, is used to print onto the powder, which is mostly plaster of Paris.

Again, a model is built up in layers as the powder bed drops incrementally, and a new fine layer of powder is swept over the surface. The model is supported by un-infiltrated powder, and so no support material is required. Post-processing to infiltrate the delicate printed model with a cyanoacrylate or epoxy resin will improve strength and surface hardness.

The resulting models are useful as study models or visual prototypes, but accuracy is limited and the models are rather fragile despite the post-processing. A particular excitement of this technology lies in its ability to print models in full colour; from a surgical perspective the drawback is that the models may not be sterilised or directly manipulated at operation.

Accuracy is inadequate for prosthodontic applications. The machines and materials are lower cost, but still not inexpensive. As the material is mostly plaster of Paris, there is some compatibility with having the apparatus situated in a dental laboratory plaster room.[3]

2.4 Selective laser sintering (SLS)

This technology has been available since the mid-1980s. A scanning laser fuses a fine material powder, to build up structures layer by layer, as a powder bed drops down incrementally, and a new fine layer of material is evenly spread over the surface. A high (60µm) level of resolution may be obtained, and as the surrounding powder supports the structures that are printed, no support material is required.

Polymers used in this process have high melting points (above autoclave sterilization temperature) and excellent material properties, making objects made in this way useful as anatomical study models, cutting and drilling guides, dental models, and for engineering/design prototypes. However, some of the materials are difficult to drill and prepare, and the technology is costly to purchase, maintain, and run, therefore requiring copious quantities of compressed air. The materials are intrinsically dusty, have some health and safety requirements, and are rather messy to work with.

Materials available include nylon, which is perhaps the most versatile, flexible elastomeric materials, and metal-containing nylon mixtures. An interesting possibility for medical implants is the use of polyether ether ketone (PEEK), although this requires high temperatures and complex control – and a great deal of wastage.

The ability to 3D print in metals is incredibly exciting in the dental world. There are a broad range of metals and metal alloys available including titanium, titanium alloys, cobalt chrome alloys, and stainless steel. 3D printed partial dentures and prosthesis frameworks are already being made in this way, and for implant bridge frameworks technology may be combined with milling processes to provide high precision connections. The technology is broadly the same as that described for

polymers above, but different manufacturers as, ‘selective laser melting’, or ‘direct metal laser sintering’ may also describe these apparatus.

The 3D printing process itself may be straightforward, but post-processing is definitely not straightforward, and the fine metal powders and even finer nanoparticle waste represents quite a significant health and safety challenge. While the printer itself may be readily accommodated in the dental laboratory, the associated post-production equipment takes up at least as much space. While in theory the use of one machine to print in different materials may seem feasible, in practice it is extremely difficult to fully clean down a machine, and certainly switching between an implantable metal and a restorative material is not at all practical.

In small batch production the technology is costly and casting continues to have many attractions. However, in a large dedicated machine it is possible to simultaneously print 400–500 crown copings in a 24-hour period. Furthermore, copings may be printed in lower cost materials that are traditionally harder to work with than gold alloys, such as cobalt chrome, but which offer good porcelain bonding strengths and excellent mechanical properties.

In surgical applications, the technology allows for the straightforward batch production of implants for orthopedic applications, and for dental implants, and has been considered for use in the production of titanium cranioplastics in oral and maxillofacial surgery. [3]

2.5 Fused deposition modelling (FDM)

FDM is one of the earliest 3D printing technologies and was used by the author to produce his first medical model in 1999. An FDM printer is essentially a robotic glue gun; an extruder traverses a stationary platform, or a platform moves below a stationary extruder. Objects are ‘sliced’ into layers by the software and coordinates transferred to the printer. Materials must be thermoplastic by definition. A commonly used material is the biodegradable polymer polylactic acid; this or similar materials have been used as key components of scaffold structures used for ‘bioprinting’ – a

popular area for research in tissue engineering. Building complex geometries usually necessitates the laying down of support structures, which may be either formed from the same material, or from a second material laid down by a second extruder – which, for example, might extrude a water-soluble support material. Accuracy will depend upon the speed of travel of the extruder, as well as the flow of material and the size of each ‘step’.

Most low cost ‘home’ 3D printers use this process. It allows for the printing of crude anatomical models without too much complexity, – for example, printing an edentulous mandible might be possible, though printing a detailed maxilla would be a tall order. More costly, more accurate FDM printers are available, and have application in anatomical study-model making, but little else in dentistry or in surgery. [3]

3 Types of 3DP filament

Desktop 3D printing filaments used to be limited to ABS and PLA, but there are now a range of different materials on the market.

Basic printing temperature ranges are listed here, but keep in mind that recommended nozzle and bed temperatures vary with filament suppliers and the printer used. In addition, when printing at accelerated speeds, the upper temperature range is recommended to keep the filament moving and avoid clogged nozzles. [4]

Types of 3D-printing filament:

1. Polylactic acid (PLA)
2. Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)
3. Polyethylene terephthalate (PET)
4. Nylon
5. Thermoplastic elastomers (TPE)
6. Thermoplastic polyurethane (TPU)
7. Polycarbonate (PC)

And others.[5]

The differences between the types of materials are given on figure I.3.

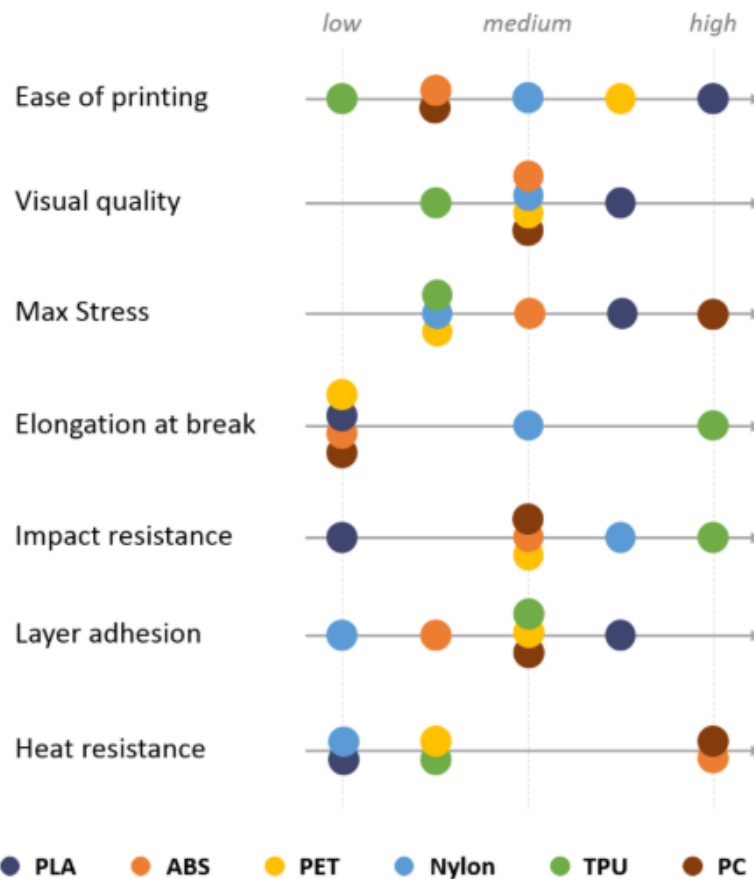


Figure I.3. Differences between different types of materials.

As we can see, the best plastic for our scientific work is PLA plastic. Figure I.4 shows a comparative chart for plastic.

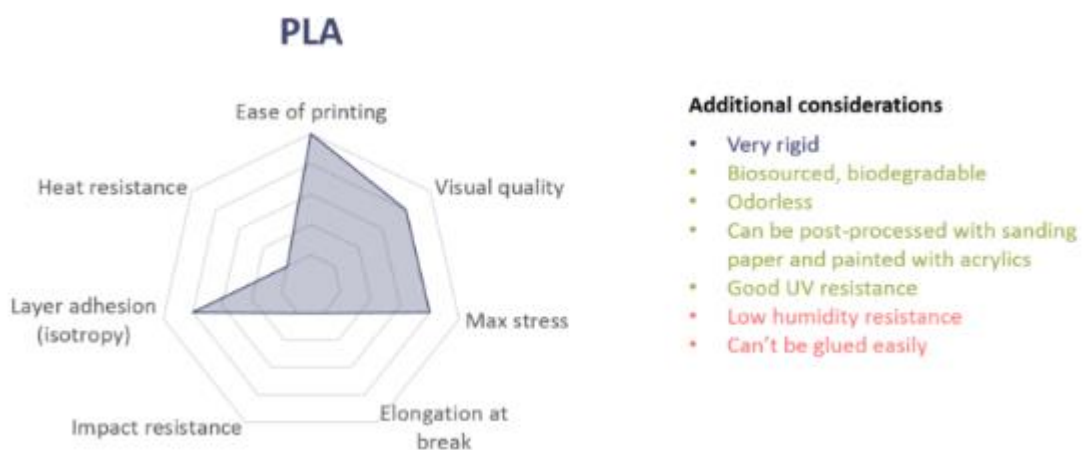


Figure I.4 - Profile of PLA-plastic.

PLA is the easiest polymer to print and provides good visual quality. It is very rigid and actually quite strong, but is very brittle.

3.1 Materials properties

3.1.1 Chemical properties

Due to the chiral nature of lactic acid, several distinct forms of polylactide exist: poly-L-lactide (PLLA) is the product resulting from polymerization of L, L-lactide (also known as L-lactide). PLA is soluble in solvents, hot benzene, tetrahydrofuran, and dioxane.

3.1.2 Physical and mechanical properties

PLA polymers range from amorphous glassy polymer to semi-crystalline and highly crystalline polymer with a glass transition of 60 °C and melting points of 130–180 °C. PLA has a glass transition temperature 60–65 °C, a melting temperature 173–178 °C and a tensile modulus 2.7–16 GPa. Heat-resistant PLA can withstand temperatures of 110 °C. The basic mechanical properties of PLA are between those of polystyrene and PET. The melting temperature of PLLA can be increased by 40–50 °C and its heat deflection temperature can be increased from approximately 60 °C to up to 190 °C by physically blending the polymer with PDLA (poly-D-lactide). PDLA and PLLA form a highly regular stereocomplex with increased crystallinity. The temperature stability is maximised when a 1:1 blend is used, but even at lower concentrations of 3–10% of PDLA, there is still a substantial improvement. In the later case, PDLA acts as a nucleating agent, thereby increasing the crystallization rate. Biodegradation of PDLA is slower than for PLA due to the higher crystallinity of PDLA. The flexural modulus of PLA is higher than polystyrene and PLA has good heat sealability.

Several technologies such as annealing, adding nucleating agents, forming composites with fibers or nano-particles, chain extending and introducing crosslink structures have been used to enhance the mechanical properties of PLA polymers. Polylactic acid can be processed like most thermoplastics into fiber (for example, using conventional melt spinning processes) and film. PLA has similar mechanical properties to PETE polymer, but has a significantly lower maximum continuous use temperature. With high surface energy, PLA has easy printability which makes it widely used in 3D printing. The tensile strength for 3-D printed PLA was previously determined.

There is also poly(L-lactide-co-D,L-lactide) (PLDLLA) – used as PLDLLA/TCP scaffolds for bone engineering. [6]

References

1. Thabiso Peter Mpofu, Cephas Mawere, Macdonald Mukosera - The Impact and Application of 3D Printing Technology // International Journal of Science and Research (IJSR). 2014. Volume 3 Issue 6. pp. 2148-2152.
2. Athanasios Anastasiou, Charalambos Tsirmpas, Alexandros Rompas, Kostas Giokas, Dimitris Koutsouris - 3D Printing: Basic concepts Mathematics and Technologies // IEEE. 2013. pp. 1-4.
3. A. Dawood, B. Marti Marti, V. Sauret-Jackson and A. Darwood - 3D printing in dentistry // British dental Journal. 2015. Volume 219 No. 11. pp. 521-529.
4. Make: 3D Printing / Compiled by Anna Kaziunas France. Canada: Maker Media, 2013.
5. Azimi et al - Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments // Environmental Science & Technology. 2016.
6. Lawrence P. Wackett - Polylactic acid (PLA) // Microbial Biotechnology. 2008. Volume 1 No 5.