TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии»
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оптимизация проведения послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки

УДК 615.849.12:616-007.251:618.14

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ7М	Аубакиров Марат Иренбекович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Черепенников Ю.М.	к. т. н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Медицинский физик НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН	Милойчикова И.А.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерная медицина	Черепенников Ю.М.	к. т. н		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат обучения*
Р1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области медицинской физики и ядерной медицины в профессиональной деятельности.
Р2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области медицинской физики и ядерной медицины.
Р3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, процессы в ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
Р4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств для медицины; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; исследований в медицинской физике и ядерной медицине.
Р5	Оценивать перспективы развития медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
Р6	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.
Р7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
Р9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) 14.04.02 «Ядерные физика и технологии»
Уровень образования Магистратура
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
Период выполнения 2017/2018, 2018/2019 учебные годы

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
30.05.2019	7. Подготовка к защите диссертационной работы	6

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Черепенников Ю.М.	к. т. н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Медицинский физик НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН	Милойчикова И.А.	к. т. н		

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Черепенников Ю.М.	к. т. н		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ7М	Аубакиров Марат Иренбекович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Ядерно-топливного цикла
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерная медицина

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	Затраты на спецоборудование 257613 руб. Основная заработная плата исполнителей НИ 127545 руб. Дополнительная заработная плата исполнителей темы 12754 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 42090 руб. Накладные расходы 42090 руб. Прочие прямые затраты 4392 руб.
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт Районный коэффициент города Томска -1,3
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	Размер отчислений во внебюджетные фонды – 30%.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала,перспективности и альтернатив проведения НИОКР с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	Иерархическая структура работ
3. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения и бюджет НИОКР Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ7М	Аубакиров Марат Иренбекович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ7М	Аубакирову Марату Иренбековичу

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	**Отделение школы (НОЦ)**	Отделение ядерно-топливного цикла
Уровень образования	Магистратура	**Направление/ специальность**	14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной природы).
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ7М	Аубакиров Марат Иренбекович		

Оглавление

Введение 13

1 Терапевтические подходы к лечению злокачественных новообразований рака тела матки 15

1.1 Проблематика заболевания 15

1.2 Причины и этапы развития рака тела матки 15

1.3 Классификация рака тела матки 17

1.4 Симптомы рака тела матки 18

1.5 Терапия рака тела матки 19

2 Материалы и методы. 21

2.1 Оборудование для проведение лучевой терапии. 21

2.1.1 Гамма-терапевтический аппарат Theratron Equinox 80 21

2.1.2 Линейный ускоритель «Elekta Synergy» 23

2.1.3 Система дозиметрического планирования XiO 25

2.1.4 Аппарат для контактной лучевой терапии MultiSourse HDR 28

2.1.5 Система дозиметрического планирования HDRplus 30

2.2 Оборудование для проведения топометрической подготовки 31

2.2.1 С-дуга OEC Fluorostar 7900 32

2.2.2Компьютерный томограф SOMATOM Emotion 33

2.3 Оборудование для проведение клинической дозиметрии. 34

2.3.1 Клинический дозиметр Dose 1 в комплекте с ионизационной камерой FC65-P. 34

2.2.2 Дозиметрический фантом Blue Phantom (IBA) 37

2.2.3 Дозиметрический фантом SP33 38

2.2.4 Дозиметрический фантом T9193 38
3 Клиническая дозиметрия 40
3.1 Клиническая дозиметрия аппаратов дистанционной лучевой терапии . 40
3.2 Клиническая дозиметрия аппаратов внутриполостной лучевой терапии 40
4 Расчет дозовых нагрузок на критические органы для послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки 45
4.1 Методика проведения послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки 45
4.2 Расчет дозовых нагрузок на критические органы для дистанционного этапа послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки 46
4.2.1 Конвенциальная лучевая терапия 46
4.2.2 Конформная лучевая терапия 49
4.3 Расчет дозовых нагрузок на критические органы для внутриполостного этапа послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки 53
4.3.1 Топометрическая подготовка без средств визуализации 53
4.3.2 Топометрическая подготовка с помощью аппарата С-дуга 55
4.3.3 Топометрическая подготовка с помощью компьютерного томографа 56
4.4 Оценка дозовых нагрузок на критические органы для послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки, реализованного различными методами 58
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ... 64
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования 64

5.2 Анализ конкурентных технических решений 65
5.3 SWOT-анализ 66
5.4 Инициация проекта 68
5.4.1 Цели и результат проекта 69
5.4.2 Организационная структура проекта 70
5.4.3 Ограничения и допущения проекта 71
5.5 Затраты на оплату труда исполнителей НТИ 78
5.5.1 Затраты на основную оплату труда исполнителей НТИ 80
5.5.3 Накладные расходы 81
5.5.4 Прочие прямые затраты 82
5.6 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ) 82
5.7 Реестр рисков проекта 83
5.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .. 84
6 Социальная ответственность 87
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов 87
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ 89
6.2.1 Организационные мероприятия 89
6.2.2 Технические мероприятия 89
6.1.3 Условия безопасной работы 92
6.3 Радиационная безопасность. 94
6.3.2 Общие требования радиационной безопасности. 95
6.3.3 Требования безопасности при работе с закрытым источником Co^{60} 98

6.3.4 Работа на установках 99
6.4 Электробезопасность 101
6.5 Пожарная и взрывная безопасность 102
Заключение 105
Список публикаций студента 107
Список используемых источников 108
Приложение А 112

1 Терапевтические подходы к лечению злокачественных новообразований рака тела матки

В данной главе представлено описание злокачественных новообразований рака тела матки, их классификация, а также основные подходы к лечению. Рассмотрен один из наиболее распространённых видов лечение – сочетанная лучевая терапия.

1.1 Проблематика заболевания

Рак тела матки – злокачественное поражение эндометрия, выстилающего полость матки. Рак тела матки проявляется кровянистыми выделениями, водянистыми белями из половых путей, болями, ацикличными или атипичными маточными кровотечениями. Клиническое распознавание рака тела матки проводят на основе данных гинекологического исследования, цитологического анализа аспиратов, УЗИ, гистероскопии с раздельным диагностическим выскабливанием, результатов гистологии [4].

Лучевая терапия представляет собой метод лечения опухолевых заболеваний, основанный на действии ионизирующих излучений. Сегодня почти 70% онкологических заболеваний лечатся именно этим способом. В зависимости от ситуации онколог может назначить терапию с помощью ионизирующих лучей как самостоятельный метод, так и как вспомогательный, в сочетании с применением химиотерапевтических препаратов.

Однако при облучении опухолевых заболеваний повреждаются не только ее клетки, но и клетки здоровых тканей и критических органов.

1.2 Причины и этапы развития рака тела матки

В онкогинекологии этиология рака тела матки рассматривается с точки зрения нескольких гипотез. Одна из них – гормональная, связывает

возникновение рака тела матки с проявлениями гиперэстрогении, эндокринных и обменных нарушений, что отмечается у 70% больных. Гиперэстрогения характеризуется ановуляторными циклами и кровотечениями, бесплодием, поздней менопаузой, опухолевыми и гиперпластическими процессами в яичниках и матке. Гормонозависимый рак тела матки чаще встречается у пациенток с ожирением, гипертонической болезнью, сахарным диабетом, феминизирующими опухолями яичника, неоднократными прерываниями беременности, получающих ЗГТ эстрогенами, имеющих отягощенную наследственную по раку яичников, эндометрия, молочной железы, толстой кишки. [1,2]

Фоновыми заболеваниями для рака тела матки служат гиперплазия эндометрия, полипы матки. На фоне гиперэстрогении, как правило, развивается высокодифференцированный рак тела матки, имеющий медленный темп прогрессирования и метастазирования, который в целом протекает относительно благоприятно. Такой вариант рака эндометрия высокочувствителен к гестагенам.

Другая гипотеза опирается на данные, свидетельствующие об отсутствии эндокринно-обменных нарушений и расстройств овуляции у 30% пациенток с раком тела матки. В этих случаях онкопатология развивается на фоне атрофического процесса в эндометрии и общей депрессии иммунитета; опухоль преимущественно низкодифференцированная с высокой способностью метастазирования и нечувствительностью к препаратам гестагенового ряда. Клинически данный вариант рака тела матки протекает менее благоприятно. [1]

Третья гипотеза связывает развитие неоплазии эндометрия с генетическими факторами.

В своем развитии рака тела матки походит этапы:

- функциональных нарушений (гиперэстрогении, ановуляции)
- морфологических фоновых изменений (железистокистозная гиперплазия эндометрия, полипы)

- морфологических предраковых изменений (атипической гиперплазии и дисплазии)
- злокачественной неоплазии

Метастазирование рака тела матки происходит по лимфогенному, гематогенному и имплантационному способу. При лимфогенном варианте поражаются паховые, подвздошные, парааортальные лимфоузлы. В случае гематогенного метастазирования отсевы опухоли обнаруживаются в легких, костях, печени [3]. Имплантационное распространение рака тела матки возможно при прорастании опухолью миометрия и периметрия, вовлечении висцеральной брюшины, большого сальника.

1.3 Классификация рака тела матки

Согласно гистопатологической классификации, среди форм рака тела матки выделяют аденокарциному, мезонефроидную (светлоклеточную) аденокарциному; плоскоклеточный, серозный, железистоплоскоклеточный, муцинозный и недифференцированный рак.

По типу роста различают рак эндометрия с экзофитным, эндофитным и смешанным (эндоэкзофитным) ростом. По степени дифференцировки клеток рак тела матки может быть высокодифференцированным (G1), умереннодифференцированным (G2) и низкодифференцированным (G3). Наиболее часто рак тела матки локализуется в области дна, реже в области нижнего сегмента [3].

В клинической онкологии используются классификации по стадиям (FIGO) и системе TNM, позволяющие оценить распространенность первичной опухоли (T), поражение лимфоузлов (N) и наличие отдаленных метастазов(M).

0 стадия (Tis) – преинвазивный рак тела матки (in situ)

I стадия (T1) - опухоль не распространяется за пределы тела матки

- IA (T1a) – рак тела матки инфильтрирует менее 1/2 толщи эндометрия
- IB (T1b) – рак тела матки инфильтрирует половину толщи эндометрия

- IC (T1c) – рак тела матки инфильтрирует более1/2 толщи эндометрия

II стадия (T2) – опухоль переходит на шейку матки, но не распространяется за ее границы

- IIA (T2a) – отмечается вовлеченность эндоцервикса
- IIB (T2b) – рак инвазирует строму шейки

III стадия (T3) – характеризуется местным или регионарным распространением опухоли

- IIIA (T3a) – распространение или метастазирование опухоли в яичник или серозную оболочку; наличие атипичных клеток в асцитическом выпоте или промывных водах
- IIIB (T3b) – распространение или метастазирование опухоли во влагалище
- IIIC (N1) – метастазирование рака тела матки в тазовые либо парааортальные лимфоузлы

IVA стадия (T4) – распространение опухоли на слизистую толстого кишечника или мочевого пузыря

IVB стадия (M1) – метастазирование опухоли в отдаленные лимфоузлы и органы. [5]

1.4 Симптомы рака тела матки

При сохранной менструальной функции рак тела матки может проявляться длительными обильными менструациями, ациклическими нерегулярными кровотечениями, в связи с чем женщины могут длительное время ошибочно лечиться по поводу дисфункции яичников и бесплодия. В постменопаузе у пациенток возникают кровяные выделения скудного или обильного характера.

Кроме кровотечений при раке тела матки часто наблюдается лейкорея - обильные водянистые жидкие бели; в запущенных случаях выделения могут иметь цвет мясных помоев или гнойный характер, ихорозный (гнилостный)

запах. Поздним симптомом рака тела матки служат боли внизу живота, пояснице и крестце постоянного или схваткообразного характера. Болевой синдром отмечается при вовлечении в онкопроцесс серозной оболочки матки, сдавлении параметральным инфильтратом нервных сплетений.

При нисходящем распространении рака тела матки в цервикальный канал возможно развитие стеноза шейки матки и пиометры. В случае сдавливания мочеточника опухолевым инфильтратом возникает гидронефроз, сопровождающийся болями в области поясницы, уремией; при прорастании опухоли в мочевой пузырь отмечается гематурия. При опухолевой инвазии прямой или сигмовидной кишки возникают запоры, появляется слизь и кровь в кале. Поражение тазовых органов нередко сопровождается асцитом. При запущенном раке тела матки нередко развивается метастатический (вторичный) рак легких, печени [1,3].

1.5 Терапия рака тела матки

В настоящие время для лечения рака эндометрия существую несколько методов такие как хирургическое лечение, химиотерапия и лучевая терапия. В зависимости от стадии развития применяться та или иная методика

Однако считается что наилучшим будет использовать комбинированное лечение. Где первым этапом является хирургическое лечение, а вторым послеоперационная сочетанная лучевая терапия.

Сочетанная лучевая терапия (СЛТ) используется при всех стадиях рака шейки матки, но наибольшее применение она имеет при IIB и III стадиях. Как самостоятельный метод радикального лечения СЛТ используется в 70% случаев. Основным принципом реализации СЛТ является сочетание дистанционного облучения тазовых лимфатических узлов и первичного очага опухоли, и внутриполостное лучевое воздействие, направленное непосредственно на первичный опухолевый очаг. [7,8]

Дистанционная лучевая терапия (ДЛТ)- проводится на различных типах гамма-терапевтических установок, линейных ускорителях электронов.

Контактная лучевая терапия (брахитерапия)- метод лечения, при котором радиоактивный источник, запаянный в герметичную капсулу, используется на коротких расстояниях для внутритканевого, внутриполостного и поверхностного облучения. Преимущества данного метода облучения обусловлены в первую очередь возможностью получения высоких доз локально в объеме опухоли с быстрым спадом дозы в окружающих нормальных тканях. [4,5]

Рекомендуемые дозы облучения: а соответствии с практическими рекомендациями Russco для послеоперационного сочетанного курса ЛТ [5]:

Дистанционная лучевая терапия: конвенциальная лучевая терапия + регионарные зоны метастазирования СОД 40 Гр (гамма-терапевтический аппарат), конформная лучевая терапия СОД 40-50 Гр (ускоритель электронов с МЛК)

Внутриполостная лучевая терапия (на брахитерапевтических аппаратах): HDR (192 Jr, 60 Co). Лучевая терапия на культю влагалища РОД 3-5-5,5 Гр. 2–3 раза в неделю, СОД = 21–27,5 Гр.

В настоящей работе была проведена была проведена дистанционная лучевая терапия до СОД 48 Гр с РОД 2 Гр и внутриполостная до СОД 25 Гр с РОД 5 Гр.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [37].

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является оптимизация дозовых нагрузок послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки.

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 5.1 карта сегментирования

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

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 5.2 Разработка данной работы подразумевает использование всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода. Конкурентная разработка подразумевает использования использование только одного типа визуализации. (К1). 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:

$$К = \sum В_i \cdot Б_i , \quad (5.1)$$

Где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; $В_i$ – вес показателя (в долях единицы); $Б_i$ – балл *i*-го показателя.

Таблица 5.2 − Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$Б_ф$	$Б_{ф1}$	$К_ф$	$К_{ф1}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Время наработки данных для визуализации	0,2	5	3	1	0,4
2. Помехоустойчивость	0,1	*5*	*5*	0,5	0,4
3. Дозовая нагрузка на критические органы	0,15	4	*3*	0,5	0,5
4. Простота планирования	0,1	*5*	*2*	0,75	0,25
5. Безопасность	0,1	*4*	*4*	0,5	0,5
6. Отсутсвие дорогостоящего оборудования для реализации метода	0.15	*3*	*5*	0.75	0.65
Экономические критерии оценки эффективности					
1.Конкурентоспособность продукта	0,05	5	*5*	0,25	0,2
2.Финансирование научной разработи	0,10	3	5	0,5	0,4
3. Цена	0,05	4	4	0,25	0,3
Итог:	**1**	-	-	**5**	**3,6**

5.3 SWOT-анализ

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

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или

возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

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

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

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

В таблице 5.3 представленSWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 5.3− SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта:**
	− С1. Снижение дозовой нагрузки на критические органы; −С2.Снижение дозовой нагрузи на пациента −С3. Простота и доступность используемой аппаратуры.	− Сл1. Необходимо наличие дорогостоящего оборудование для более точного результата. − Сл2. Более трудоемкий процесс подготовки пациента.

Возможности: − В1. Использование результатов для оценки дозовой нагрузки на пациента − В2. Появление дополнительного спроса на готовый продукт..	1. Осуществление обработки результатов без применения лишней дорогостоящей подготовки даст возможность колоссальной экономии средств, и как следствие, увеличивает количество заинтересованных в исследовании организации. 2. Снижение дозовой нагрузки на пациента дает возможность проведения дополнительных и корректировки курс лечения.	1. Необходимо наличия дорогостоящего оборудование для более точного результата результата оценки дозовой нагрузки. 2. Трудоемкость процесса подготовка пациента дает увеличенное сбора данных, которые могут могут использоваться для оценки динамики лечения.
Угрозы: − У1. Сложность финансирования со стороны, как университета, так и государства. −У2. Сложность ремонта оборудования в оборудования в случае поломки.	1. Снижение дозовой нагрузки на пациента дает возможность проведения дополнительных исследований и корректировки курса лечения, что дает преимущество перед конкурентами и дополнительный доход 2. Осуществление обработки результатов без применения сложных программ, не даст нам задержку по получению полных результатов для исследования.	1. Избежать покупки и ремонта дорогостоящего оборудования возможно методом импортозамещения. 2. Разработка новых протоколов сканирования позволит сократить время сбора данных, а подбор оптимального режима сканирования увеличит срок эксплуатации и снизит риски его поломок

5.4 Инициация проекта

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

5.4.1 Цели и результат проекта

В данном разделе приведена о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 5.4

Таблица 5.4 − Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	**Ожидания заинтересованных сторон**
Российские онкологические клиники и диспансеры и Пациенты	Уменьшение дозовых нагрузок на критические органы. Снижение рисков возникновения поздних лучевых реакций организма. Уменьшение времени восстановления после лечения, за счет сниженной лучевой нагрузки.
Медицинские физики	Меньшие трудозатраты на составление плана лечения пациента из-за отсутствия необходимости перебирать все возможные методики лечения

В таблице 5.5 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.5 − Цели и результат проекта

Цели проекта:	Оптимизация проведения послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака тела матки
Ожидаемые результаты проекта:	1. Уменьшенная лучевая нагрузка на критически органы за счет оптимизации планов. 2. Улучшенное дозовое распределение при использовании различных методик планирования и топометрической подготовки.

Критерии приемки результата проекта:	1. Облучить максимально возможный объем опухоли при минимальном облучении критических органов. 2. План удовлетворяет требованиям QUANTEC.
Требования к результату проекта:	**Требование:**
	1. Проект должен быть завершен до 1 июня 2019 года.
	2. Полученные результаты должны удовлетворять критериям приемки результата проекта.
	3. Результаты научного исследования должны быть представлены на одной из всероссийских/областных конференций и иметь публикацию в одном из научных журналов.

5.4.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо было решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 5.6

Таблица 5.6 − Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	**Роль в проекте**	**Функции**	**Трудозатраты, час.**
Черепенников Юрий Михайлович. Доцент отделения ядерно-топливного цикла	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	30
Милойчикова Ирина Алексеевна. Медицинский физик	Консультант проекта	Отвечает за помощь магистру в создании планов лечения и	80

отделения радиотерапии НИИ онкологии Томского НИМЦ		помогает в обработке полученных данных.	
Аубакиров Марат Иренбекович, магистрант НИ ТПУ	Исполнитель проекта	Обзор источников литературы. Создание планов облучения пациентов для всех исследуемых методик облучения. Сравнение планов. Оценка дозовых нагрузок на критические органы. Написание магистерской диссертации.	870
Итого:			1304

5.4.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 5.7 − Ограничения проекта

Фактор	**Ограничения/ допущения**
1. Бюджет проекта	486485 руб.
1.1. Источник финансирования	Государственное финансирование
2. Сроки проекта:	01.02.2019 − 31.05.2019 гг.
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	11.02.2019 г.
2.2. Дата завершения проекта	31.05.2019 г.
3. Прочие ограничения и допущения	Медицинский физик отделение радиологии НИИ онкологии Томского НИМЦ

5.2 Планирование управления научно-техническим проектом

5.2.1 Иерархическая структура работ проекта

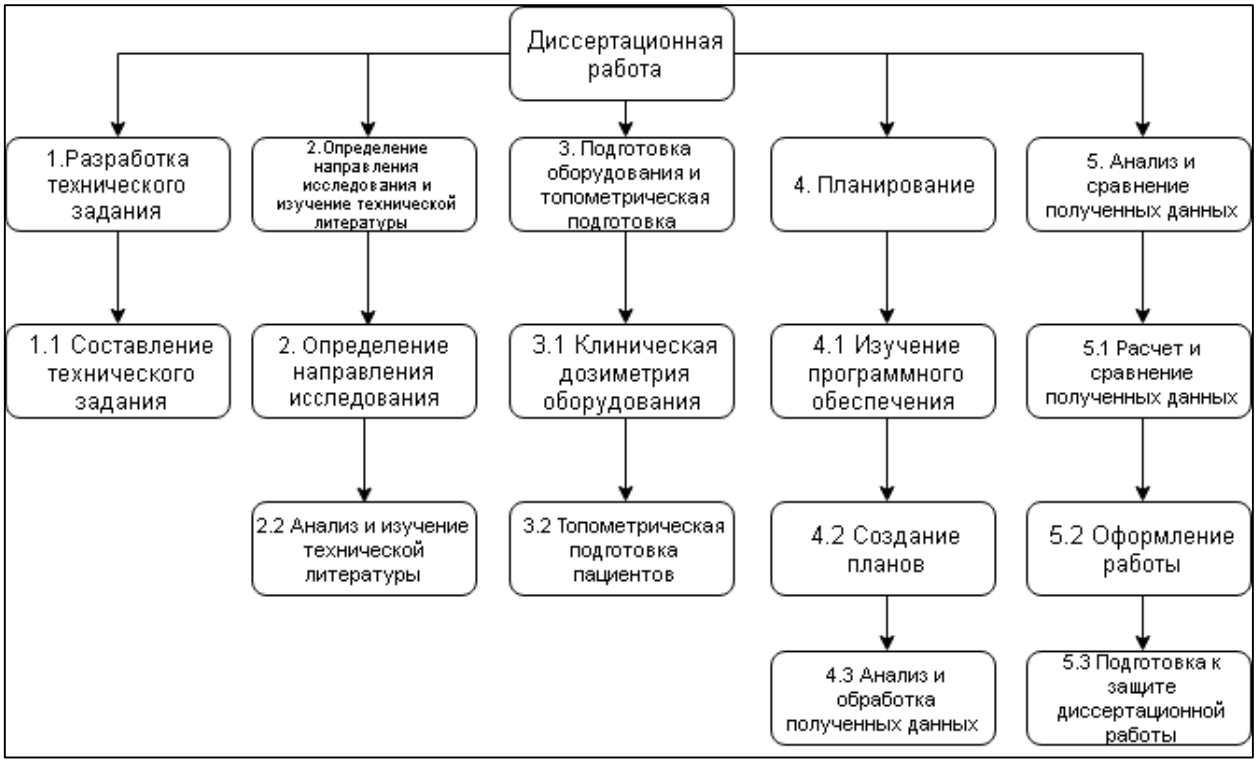

Рисунок 5.1 Иерархическая структура работ

В процессе создания иерархической структуры работ проекта структурированы и определены содержание всего проекта, которые представлены на Рисунке Х.

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.

5.2.2 Контрольные события проекта

В данном разделе были определены главные события проекта, результаты и их даты. Все информация которых показана в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания	09.02.2019-11.02.2019	Приказ о ВКР
1.1	Составление технического задания	11.02.2019-13.02.2019	–
2.1	Определение направления исследования	13.02.2019-15.02.2019	–
2.2	Анализ и изучение технической литературы	15.02.2019-10.03.2019	Список литературы
3.1	Изучение оборудования	02.03.2019-02.04.2019	–
3.2	Дозиметрия оборудования для лучевой терапии	02.04.2019-11.04.2019	–
4.1	Топометрическая подготовка	11.04.2019-13.04.2019	-
4.2	Составление дозиметрических планов для сочетанного курса лучевой терапии	13.04.2019-17.04.2019	–
4.3	Анализ и обработка полученных данных	17.04.2019-19.04.2019	Отчет
5.1	Расчет дозовых нагрузок полного сочетанного курса лучевой терапии	19.04.2019-19.05.2019	Отчет
5.2	Анализ расчетов	19.05.2019-21.05.2019	–
5.3	Оформление выполненной работы	10.04.2019-26.05.2019	Отчет
5.4	Подготовка к защите диссертационной работы	26.05.2019-14.06.2019	Презентация

5.2.3 Контрольные события проекта

В рамках планирования диссертационного проекта необходимо составить календарный график проекта, представленный в таблице 5.9. Далее с помощью диаграммы Гранта в таблице 5.10 проиллюстрирован календарный план диссертации, на котором работы по теме характеризуются датами начала

и окончания выполнения данных работ.

Таблица 5.9 – Календарный план диссертационного проекта.

№	Название	T, Раб. дн.	Дата	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	07.02.2019-09.02.2019	Руководитель
1.1	Составление технического задания	3	11.02.2019-13.02.2019	Руководитель
2.1	Определение направления исследования	3	13.02.2019-15.02.2019	Руководитель Магистрант
2.2	Анализ и изучение технической литературы	18	15.02.2019-10.03.2019	Магистрант
3.1	Изучение оборудования	26	02.03.2019-02.04.2019	Магистрант
3.2	Дозиметрия оборудования для лучевой терапии	9	02.04.2019-11.04.2019	Магистрант, Консультант
4.1	Топометрическая подготовка	3	11.04.2019-13.04.2019	Магистрант, Консультант
4.2	Составление дозиметрических планов для сочетанного курса лучевой терапии	4	13.04.2019-17.04.2019	Магистрант, Консультант
4.3	Анализ и обработка полученных данных	3	17.04.2019-19.04.2019	Магистрант
5	Расчет дозовых нагрузок полного сочетанного курса лучевой терапии	23	19.04.2019-19.05.2019	Магистрант
5.1	Анализ расчетов	2	19.05.2019-21.05.2019	Магистрант
5.2	Оформление выполненной работы	37	10.04.2019-26.05.2019	Магистрант
5.3	Подготовка к защите диссертационной работы	17	26.05.2019-14.06.2019	Магистрант

Таблица 5.10 – Календарный план-график в виде диаграммы Гранта.

№	Вид работ	Исполнители	Tk кал дн	Продолжительность выполнения работ												
				Фев		Март			Апр.			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	2													
1.1	Составление технического задания	Руководитель	2													
2.1	Определение направления исследования	Руководитель Магистрант	2													
2.2	Анализ и изучение технической литературы	Магистрант	24													
3.1	Изучение оборудования	Магистрант	31													
3.2	Дозиметрия оборудования для лучевой терапии	Магистрант, Консультант	9													
4.1	Топометрическая подготовка	Магистрант, Консультант	2													
4.2	Составление дозиметрических планов для сочетанного курса лучевой терапии	Магистрант, Консультант	4													
4.3	Анализ и обработка полученных данных	Магистрант	2													
5	Расчет дозовых нагрузок полного сочетанного курса лучевой терапии	Магистрант	30													
5.1	Анализ расчетов	Магистрант	5													
5.2	Оформление выполненной работы	Магистрант	46													
5.3	Подготовка к защите диссертационной работы	Магистрант	20													

5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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:

1. Материалы.
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в НИОКР.
3. Отчисления во внебюджетные фонды.
4. Работы, выполняемые сторонними организациями.
5. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ.
6. Прочие прямые расходы.
7. Накладные расходы.

Статьи 1-7 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного НТИ, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб, они объединяются в статье «Накладные расходы».

5.3.1 Расчёт суммы амортизационных отчислений оборудования для экспериментальных работ

Оборудование, используемое в диссертационной работе, уже имелось в радиологическом отделении. В данной статье включены в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. Стоимость оборудования, используемого при выполнении диссертации учитывается в виде амортизационных отчислений. В данной диссертационной работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ,

относятся аппарат для контактной лучевой терапии(брахитерапия) «MultiSourse HDR», который был создан ведущей мировой корпорацией по разработке и производству высокотехнологичного медицинского оборудования и информационных систем для лучевой терапии в Швеции и ориентировочная стоимость составляет 80 000 000 рублей при назначенном сроке службы 30 лет, для дистанционной лучевой терапии использовался аппарат «Equinox 80» ориентировочная стоимость 130 000 000 рублей – 25 лет, клинический дозиметр Dose 1 – 500 000 рублей – 20лет, тканеэквивалентный фантом – 285 000 рублей – 100 лет, дозиметрическая камера 200 000 рублей – 10 лет, компьютерный томограф «Siemens» 70 000 000 рублей – 25 лет, рентгеновский аппарат визуализации контактной лучевой терапии «С- Дуга» 35 000 000 рублей – 25 лет, система планирования «XiO» и «HDRplus» стоимостью 10 000 000 и 15 000 000 рублей соответственно .

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений:

$$\mathrm{A} = \frac{A\text{соб}}{T} \tag{5.2}$$

$$\mathrm{A_Д} = \frac{\mathrm{A}}{365} \tag{5.3}$$

$$\mathrm{A_{м.р}} = \mathrm{A_Д} \cdot N \tag{5.4}$$

где А – норма амортизации, %;

$\mathrm{A_{соб}}$ – сумма оборудования

$\mathrm{A_д}$ – сумма амортизации, руб. в день;

$\mathrm{A_{м.р}}$ – сумма амортизации за время научной работы, руб.

N- количество дней эксплуатации

T- скро службы

Таблица 5.11 - Амортизационные отчисления

№	Наименование оборудования	Дней эксплуатации	Стоимость	Амортизационные отчисления
1	MultuSourse HDR	2	80 млн.руб.	14611,87 руб.

2	Equinox 80	1	120 млн.руб.	14246,57 руб.
3	Компьютерный томограф	2	70 млн.руб.	15342,46 руб.
4	С-Дуга	2	35 млн.руб.	7671,23 руб.
5	Система планирования XiO	15	10 млн.руб.	82191,78 руб.
6	Система планирования HDRplus	30	15 млн.руб.	123287,67 руб.
7	Клинический дозиметр Dose 1	2	500 тыс. руб.	137 руб.
8	Тканеэквивалентный фантом	2	285 тыс. руб.	15,62 руб.
9	Дозиметрическая камера	2	200 тыс. руб.	109,56 руб.
Итого				257613,76 руб

5.5 Затраты на оплату труда исполнителей НТИ

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 оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

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

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (5.5)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб} \quad (5.6)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_р$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д} \quad (5.7)$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.12).

Таблица 5.12 Баланс рабочего времени для рабочей группы проекта

Показатели рабочего времени	**Руководитель**	**Консультант**	**Магистрант**
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52 14	104 14	52 14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	24	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223	251

Месячный должностной оклад работника:

$$З_м = З_б \cdot (k_{пр} + k_д) \cdot k_р \quad (5.8)$$

где $З_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.13.

Таблица 5.13 Расчёт основной заработной платы

Исполнители	**Оклад, руб**	$k_р$	**$З_м$, руб**	**$З_{дн}$, руб.**	**$Т_р$,раб.дн.**	**$З_{осн}$, руб.**
Руководитель	33 663	1,3	43 762	1 813	5	9065
Консультант	30000		39000	1959	10	19590
Магистрант	12 664		16 463	682	145	98890
Итого:						**127545**

5.5.1 Затраты на основную оплату труда исполнителей НТИ

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

$$З_{доп} = k_{доп} * З_{осн} \quad (5.9)$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.14 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.14 Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	**Руководитель**	**Консультант**	**Магистрант**
Основная зарплата, руб/мес.	9065	19590	98890
Дополнительная зарплата, руб	906	1959	9889
Итог, руб:	**140300**		

5.5.2 Отчисления во внебюджетные фонды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$С_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.10)$$

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

$$k_{внеб} = 0,3$$

На 2019 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * \sum(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * 140300 = 42090 \text{ руб.} \quad (5.11)$$

5.5.3 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении научного исследования.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * \left(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}\right) = 0{,}3 * 140300 = 42090 \text{ руб.} \quad (5.12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

5.5.4 Прочие прямые затраты

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$С = Ц_{эл} * F_{об} * Р \ , \quad (5.13)$$

где $Ц_{эл}$ − тариф на электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт);

Р − мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ − время использования оборудования, ч.

Рассчитанные затраты на электроэнергию приведены в таблице 4.8.5.

Таблица 5.15 – Затраты на электроэнергию

Наименование	**Время работы, ч**	**Мощность потребления электроэнергии, кВт**	**Цена за 1 кВт, руб.**	**Затраты на электроэнергию ($З_э$), руб.**
Компьютер	580	0,5	5,8	1 682
КТ	2	30	5,8	348
Equinox 80	1	100	5,8	580
С-Дуга	2	70	5,8	812
MultiSourse HDR	2	80	5,8	928
Dose 1	4	1,8	5,8	42
Итог:				**4392**

5.6 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ)

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение

бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16– Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	**Сумма, руб.**
Затраты на спецоборудование	257613,76
Затраты по основной заработной плате исполнителей	127545
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	12754
Отчисления во внебюджетные фонды	42090
Накладные расходы	42090
Прочие прямые затраты	4392
Бюджет затрат НТИ	**486485**

5.7 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. Информация по данному разделу представлена в таблице 5.17

Таблица 5.17 − Реестр рисков

Риск	**Потенциальное воздействие**	**Рнаст (1-5)**	**Влияние риска (1-5)**	**Уро-вень риска**	**Способы смягчения риска**	**Условия наступления**
Поломка специального оборудования	Невозможность проведения топометрической подготовки	2	5	Высок.	Осуществление работ в соответствии с инструкцией	Неправильное обращение с оборудованием
Поломка планирующей системы	Невозможноть создания планов облучения	2	4	Средн.	Осуществление работ в соответствии с инструкцией	Неправильный запуск программы

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{испi}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.14)$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{испi}}$– 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 разах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Тогда, рассчитывая значение интегрального финансового показателя учтем, что Исп.1 – использование всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода, Исп. 2 – использования использование только одного типа визуализации.

$$I_{\text{фин}}^{\text{Исп1}} = \frac{485453 - 120000}{485453} = 0{,}75$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{Исп2}} = \frac{485453 - 90000}{485453} = 0{,}81$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^{n} a_i * b_i, \quad (5.15)$$

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

a_i– весовой коэффициент *i*-го варианта исполнения разработки;

b_i– бальная оценка *i*-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 5.18), где Исп.1 − использование всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода, Исп.2 − использования использование только одного типа визуализации.

Таблица 5.18− Оценка характеристик исполнения проекта

Объект исследования / **Критерии**	**Весовой коэффициент параметра**	**Оценка Исп. 1**	**Оценка Исп.2**
Уменьшение дозовых нагрузок	0,4	5	3
Удобство в эксплуатации	0,15	4	4
Стоимость внедрения	0,1	4	3
Энергосбережение	0,2	3	4
Безопасность	0,25	5	2

$$I_{\text{р}-\text{Исп.1}} = 5 * 0{,}35 + 4 * 0{,}15 + 4 * 0{,}1 + 3 * 0{,}2 + 5 * 0{,}25 = 4{,}6$$

$$I_{\text{р}-\text{Исп.2}} = 3 * 0{,}35 + 4 * 0{,}15 + 3 * 0{,}1 + 4 * 0{,}2 + 2 * 0{,}25 = 3{,}25$$

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

$$I_{\text{исп}i} = \frac{I_{\text{р}-\text{исп}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}}, \quad (5.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 5.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($Э_{ср}$):

$$Э_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}}, \quad (5.17)$$

Таблица 5.19 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	**Исп. 1**	**Исп. 2**
Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,81
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.6	3.25
Интегральный показатель эффективности	6,13	4,01
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,52	

Как видно из расчетов, использование всех трех средств визуализации является наиболее оптимальным и целесообразным решением, однако все зависит от конкретного места использование свези с наличием или отсутствуем оборудования.

6 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 [16], то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

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

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

Опасным производственным фактором – это такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при написании данной диссертационной работы представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Экспериментальные исследования в НИИ окнкологи Томского НИМЦ. Обработка данных на ПК	1.Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне		Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
		3.Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	2.Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		4.Пожарная безопастность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. [35,36]

На человека, находящегося за ЭВМ воздействуют следующие факторы:

– физические (температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой чистоты, освещённость, наличие ионизирующего излучения)

- психофизиологические (физические перегрузки и нервно- психические перегрузки такие как умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

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

6.2.1 Организационные мероприятия

Персонал обязан знать и соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается квалификационная группа и выдается удостоверение. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

6.2.2 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 6.1.

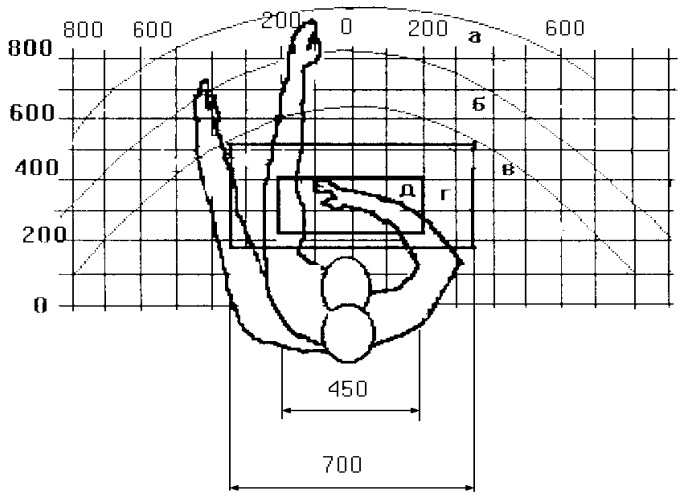

Рисунок 6.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

– дисплей размещается в зоне а (в центре);

– клавиатура размещается в зоне г/д;

– системный блок размещается в зоне б (слева);

– принтер находится в зоне а (справа);

– литература и документация, необходимая при работе размещается в зоне легкой досягаемости ладони (слева);

– литература, не используемая постоянно, размещается в выдвижных ящиках стола.

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 45º к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30º. 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 15º. 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). Во время работы, требующей интенсивной умственной либо физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые

возбуждают активность человека.

6.1.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда:

- микроклимат;
- шум;
- вибрация;
- электромагнитное поле;
- излучение;
- освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха [17]. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – 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 м^3 на человека – не менее 30 м^3 в час на человека; при объёме помещения более 40 м^3 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. [36]

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

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [3] 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 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.

6.3 Радиационная безопасность.

Лаборатория, в которой проводились работа была подвергнута испытаниям в аккредитованной Госстандартом России лаборатории радиационного контроля по параметру: определение радиационной обстановки и соответствует нормативным требованиям.

Необходимо обеспечивать радиационную безопасность персонала в НИИ онкологии Томского НИМЦ в связи с излучением, которое генерируется аппаратом для контактной лучевой терапии Multisource HDR, в качестве закрытого источника используется Co^{60} с энергией гамма квантов 1,25 МэВ, а также аппаратом для дистанционной лучевой терапии Theratron Equinox 80.

6.3.1 Действие ионизирующего излучения на организм.

Прямое действие ионизирующих излучений – это прямое попадание в биологические молекулярные структуры клеток и в жидкие (водные) среды

организма. Непрямое или косвенное действие – действие свободных радикалов, возникающих в результате ионизации, создаваемой излучением в жидких средах организма и клеток. Свободные радикалы вызывают разрушения целостности цепочек макромолекул (белков и нуклеиновых кислот), что может привести как к массовой гибели клеток, так и канцерогенезу, и мутагенезу. Наиболее подвержены воздействию ионизирующего излучения активно делящиеся (эпителиальные, стволовые, также эмбриональные) клетки. [35]

После действия излучения на организм в зависимости от дозы могут возникнуть детерминированные и стохастические радиобиологические эффекты. Например, порог появления симптомов острой лучевой болезни у человека составляет 1–2 Зв на всё тело.

В отличие от детерминированных, стохастические эффекты не имеют чёткого дозового порога проявления. С увеличением дозы облучения возрастает лишь частота проявления этих эффектов. Проявиться они могут как спустя много лет после облучения (злокачественные новообразования), так и в последующих поколениях (мутации).

При проведении систематического облучения дозами, которые не вызывают лучевую болезнь, но заметно выше предельно допустимых доз, может развиться хроническая лучевая болезнь. Наиболее характерным её проявлением являются изменения в составе крови − уменьшение лейкоцитов, анемия.

6.3.2 Общие требования радиационной безопасности.

При работе с ИИ устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведенные в таблице 13.7.1;
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОА) и среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;
- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Таблица 6.3Основные пределы доз [35]

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

Примечания:

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонал приводятся только для группы А.

*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см^2.

**** Относится к среднему по площади в 1 $см^2$ значению в базальном слое кожи толщиной 5 $мг/см^2$ под покровным слоем толщиной 5 $мг/см^2$. На ладонях толщина покровного слоя – 40 $мг/см^2$. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 $см^2$ площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от беты–частиц.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения. Исключение составляют пределы доз для персонала, которые включают в себя дозы от природного облучения в производственных условиях.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 года.

Основным требованием к обеспечению радиационной безопасности при работе с закрытыми источниками является сооружение защит для снижения внешних потоков излучения на рабочем месте и в соседних комнатах до допустимых уровней.

Работа с источниками излучения закрытого типа предусматривает следующие положения:

- в нерабочем положении все источники должны находиться в защитных устройствах, а ускорители и генераторы должны быть обесточены;
- пульт управления установкой должен быть размещен в смежном помещении и входная дверь в помещении, где находится аппарат, должна блокироваться с механизмом перемещения источника или с включением
- высокого напряжения так, чтобы исключить возможность случайного облучения персонала;
- должна быть установлена сигнализация;
- если мощность эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от источника не превышает 3 мЗв/час, то специального требования к помещению

и размещению установки не предъявляется. Если мощность эквивалентной дозы превышает 3 мЗв/час, то для размещения установок выделяют отдельные помещения; [35]

- при работе с закрытыми источниками излучения не предъявляется специального требования к отделке помещения, так как на них не попадают радиоактивные вещества;
- соблюдение мер личной гигиены (мытье рук, использование разовых перчаток, респираторов, чепчиков и халатов).

6.3.3 Требования безопасности при работе с закрытым источником Co^{60}

Закрытые источники − радионуклидные источники излучения, устройство которых исключает поступление содержащихся в них радионуклидов в окружающую среду (герметичность) в условиях применения и износа, на которые он рассчитан, а также устройства, генерирующие ионизирующее излучение (рентгеновские аппараты и т.д.). При работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения человек подвергается только внешнему облучению.

Основные методы защиты от внешнего облучения:

- защита количеством − снижение мощности или активности источника ионизирующего излучения;
- защита временен − снижение времени работы с источниками ионизирующего излучения: чем меньше время воздействия ионизирующего излучения на организм, тем меньше доза облучения;
- защита расстоянием − увеличение расстояния до объекта ионизирующего излучения при работе с ним: излучение от точечного источника уменьшается пропорционально увеличению квадрата расстояния до него;

- защита экранированием: для рентгеновского и гамма–излучения − свинец и уран, может быть использовано просвинцованное стекло, железо, бетон и другие материалы с эквивалентным увеличением толщины экрана.

До начала работы с источником ионизирующего излучения предприятие должно иметь санитарно–эпидемиологическое заключение на право работы с источниками по ОСПОРБ, а также лицензию Госатомнадзора РФ на право работ с указанными источниками. Каждое подразделение предприятия обязано вести приходно – расходный журнал по учету радионуклидных источников излучения. Испытания закрытых источников на прочность из–за потенциальные возможности их разгерметизации следует рассматривать как работы с радиоактивным веществом в открытом виде и проводить в соответствии с требованиями ОСПОРБ. При обращении с источниками не допускается превышать дозы облучения (табл. 2.3). [36]

Для оценки радиационной обстановки на рабочем месте ранее были произведены замеры в процедурной комнате после остановки сеанса лечения в месте расположения кресла больного, где обслуживающий медицинский персонал может подвергаться наибольшей радиационной нагрузке во время укладки пациента. Как показывают результаты максимальное значение мощности дозы в процедурной комнате в месте размещения пациента составляет

12 мкЗв/ч. В помещениях, где находятся источники излучения, допустимая максимальная доза для персонала группы А может быть выше в 2 раза (т.е 24 мкЗв/ч), но персонал не должен находиться в этих помещениях больше половины своего рабочего времени.

6.3.4 Работа на установках

При работе на «С–дуге», компьютерном томографе основными факторами опасности является:

- рентгеновское излучение при контроле положения органов;

- высокое напряжение;
- шум, создаваемый аппаратурой;
- тепловыделение от оборудования и коммуникаций;

При работе на аппарате «MultiSource HDR», «Theratron Equinox 80» и линейном ускорителе Elekta Synergy основными факторами опасности является:

- высокий радиационный фон вблизи хранилища источника;
- высокий радиационный фон при выходе источника во время сеанса лечения;
- высокое напряжение;
- тепловыделение от оборудования и коммуникаций;

К работе допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний, отнесенные к категории персонала группы А или персонал группы Б в сопровождении персонала группы А, прошедшие обучение по правилам работы на аппарате и по радиационной безопасности, прошедшие инструктаж по радиационной безопасности.

Во время работы на пульте управления и над входом в рабочую камеру в обязательном порядке горят предупреждающие световые и звуковые сигналы.

При проведении рентгенологических исследований, с целью обеспечения безопасности персонала и пациентов устанавливается номенклатура передвижных и индивидуальных средств для обеспечения радиационной защиты во всем диапазоне анодных напряжений, используемых в рентгенодиагностике. К передвижным средствам радиационной защиты относится большая и малая защитная ширма, и экран защитный поворотный – предназначены для защиты всего тела или отдельных частей тела человека в положении стоя, сидя или лежа. К индивидуальным средствам радиационной защиты относятся: шапочка, очки, воротник, накидка, фартук, жилет, передник, юбка, перчатки и защитные пластины.

При работе на аппарате «MultiSource» в помещении с источником, персонал находится в специальных защитных просвинцованных фартуках, как можно меньшее количество времени и руководствуется принципами основных методов защиты от внешнего облучения (см.6.3.3)

Так же аппарат находится в специальном бункере, конструкция радиационной защиты которого обеспечивает необходимую защиту персонала и населения. Перед включением необходимо в срочном порядке покинуть бункер, после чего убедиться, что двери плотно закрыты и все условия удовлетворяют требованиям. Дополнительно необходимо носить индивидуальный дозиметр в нагрудном кармане. Внутренней службой радиационной безопасности регулярно проводится дозиметрический контроль всех помещений, проверяются показания индивидуальных дозиметров, контролируется использование индивидуальных средств защиты.

6.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Опасность поражения электрическим током существует в следующих случаях: [38]

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);

- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействие.

Тепловое (термическое) действие проявляется в виде ожогов участка кожи, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон.

Химическое (электролитическое) действие ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме человека растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма

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 (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей). [39]

6.5 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения

подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий [38].

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 следующие: 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 несгораемых или трудно сгораемых материалов; [38]
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий, 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 руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией

Список публикаций студента

1. Аубакиров М.И., Добрыгина М.А., Красных А.А., Милойчикова И.А., Стахова О.М., Старцева Ж.А., Тургунова Н.Д. Оценка дозовых нагрузок послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии рака эндометрия // Фундаментальная и клиническая онкология: достижения и перспективы развития: российская научно-практическая конференция, посвященная 40-летию НИИ онкологии Томского НИМЦ, Томск, 22–24 мая 2019 г. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2019. – 267 с.

Список используемых источников

1. Чиссов В.И., Дарьялова С. Л. Онкология. - М.: «ГЭОТАР-Медиа>, 2007. - 560 с.
2. Клинические рекомендации [Электронный ресурс] – режим доступа: http://cr.rosminzdrav.ru/#!/schema/320 04.02.2019
3. Солодкий В. А., Ставицкий Р.В. Рак шейки матки Москва: ГАРТ. 2011. 159 с.
4. Joiner M., Kogel A. Basic Clinical Radiobiology // UK by MPG Books 2009. 391 с.
5. Recommendations for a quality assurance programs in external radiotherapy. – ESTRO, 1995. – Booklet № 2.
6. Вишневская Е.Е. Современные принципы сочетанного лучевого лечения раком шейки матки // Мед. радиол. 1985. - №9. - С. 63 - 68.
7. Климанов В.А., Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии, часть 1, 2011, стр.348-350
8. Климанов В.А., Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии, часть 2, 2011, стр.198-204, 244-251
9. Theratron Equinox 80 [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.theratronics.ca/product_equinox.html Дата обращения 04.02.2019
10. Руководство по эксплуатации системы в клиническом режиме для систем: Elekta Synergy. - 1503740 01 изд. 2013. - С. 310
11. Паспорт - Система радиотерапевтическая медицинская Elekta с принадлежностями. - 94 4450 изд. - С. 28.
12. XiO User Tutorial Guide [Электронный ресурс] – режим доступа: https://www.elekta.com/software-solutions/treatment-management/external-beam-planning/xio.html#XiO-related Дата обращения 15.03.2019
13. Дозиметрические системы для лучевой терапии, ЗАО «МСМ Медимпэкс», 2008 г.

14. MultiSourse User Manual // bebig. 2015. 120 с.

15. HDRplus User Manual // sonoTECH GmbH. 2009. 289 с.

16. Компьютерная томография. Базовое руководство. 2-е издание, переработанное и дополненное: — М.: Мед.лит., 2008. — 224 с.

17. Fluoroscopy module [Электронный ресурс] – режим доступа:https://abos.org/media/7673/fluoroscopy_module_june_2013-1.pdf Дата обращения 15.03.2019

18. SOMATOM Emotion 6/16 [Электронный ресурс] – режим доступа: https://w5.siemens.com/web/ua/ru/medecine/detection_diagnosis/computed_tomography/multislice_ct/somatom_emotion/pages/emotion.aspx. Дата обращения 12.04.2019

19. Радиологическая защита при медицинском облучении ионизирующим излучением // IAEA. – 2004. – № RS-G-1.5. – 99 с.

20. Applying radiation safety standards in radiotherapy // IAEA. – Vienna, 2006. – SRS № 38. – 116 p.

21. Руководство пользователя «DOSE 1». IN/OM 2068 (RUS) (5), 2009, 71с.

22. User's Guide - CC13 Ionization Chamber. – Schwazenbruck, Germany: IBA Dosimetry GmbH, 2013.

23. Дозиметрическое оборудование [Электронный ресурс] – режим доступа:http://www.mphc.ru/files/iba_new_small.pdf Дата обращения 25.04.2019

24. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water (russian edition). Technical Reports Series 398 / International Atomic Energy Agency. – 2000.

25. Контроль качества гамма-терапевтических аппаратов для контактного облучения / И. Г. Тарутин [и др.] // Контроль качества в лучевой терапии и лучевой диагностике. – Минск: Полипринт, 2009. – С. 120–136.

26. Azhari H.A, Hensley F. Dosimetric verification of source strength for HDR afterloading units with Ir-192 and Co-60 photon sources: Comparison of three different international protocols // Int. J. Medical Physics Vol. – 2012. – 37(4) – p.183-92

27. Измерение мощности воздушной кермы и вычисление дозы и мощности дозы от радиоактивных источников, применяемых в аппаратах контактной лучевой терапии: метод. рекоменд., рег. № 9-9901 / И. Г. Тарутин, В. Л. Пышняк. – Минск, 1999. – 36 с.

28. Применение в клинике гистограмм доза–объем / Т. Г. Ратнер [и др.] // Медицинская физика. – 2006. – № 1. – С. 73–81.

29. Dose Volume Histograms / R. Drzimala [et al.] // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. – 1991. – Vol. 21. – P. 71–78.

30. Клиническая подготовка медицинских физиков, специализирующихся в области радиационной онкологии / МАГАТЭ, серия учебных курсов № 37. – Вена: МАГАТЭ, 2012. – 227 с.

31. Chen, G. T. Y. Dose Volume Histograms in Treatment Planning / G. T. Y. Chen // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. – 1988. – Vol. 14. – P. 1319– 1320.

32. Павлов А.С., Фадеева М.А., Карякина Н.Ф. Линейно-квадратичная модель в расчетах изоэффективных доз, в оценке противоопухолевого эффекта и лучевых осложнений при лучевой терапии злокачественных опухолей: Пособие для врачей. М., 2005. 67 с.

33. Таблицы Quantec [Электронный ресурс] – http://radio-oncology.com/vracham/quantec Дата обращения 10.03.2019

34. Cosset, J. M. Accidents in LDR and HDR brachytherapy / J. M. Cosset // ESTRO-31. – London, 2011. – Rep. 198.

35. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

36. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010)

37. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. No 181-ФЗ.

38. Правила устройства электроустановок. – 7 изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

39. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».

Приложение А

Optimization of postoperative combined course of radiation therapy for endometrial cancer

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ7М	Аубакиров Марат Иренбекович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ, руководитель ООП	Черепенников Ю.М.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Медицинский физик НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН	Милойчикова И.А.	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

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

Contents

1. Code of practice for cobalt-60 gamma ray beams 114
1.1 General 114
1.2 Dosimetry equipment 114
1.2.1 Ionization chambers 114
1.2.2 Phantoms and chamber sleeves 114
1.3 Beam quality specification 115
1.4 Determination of absorbed dose to water 116
1.4.1 Reference conditions 116
1.4.2 Determination of absorbed dose under reference conditions 116
1.4.3 Absorbed dose at $zref$ 117
1.5 Cross-calibration of field ionization chambers 117
1.6 Measurements under non-reference conditions 118
2. Code of practice for high-energy photon beams 118
2.1 General 118
2.2. Dosimetry equipment 119
2.2.1 Ionization chambers 119
2.2.2 Phantoms and chamber sleeves 119
2.3 Beam quality specification 120
2.3.1 Choice of beam quality index 120
2.3.2 Measurement of beam quality 121
2.4 Determination of absorbed dose to water 122
2.4.1 Reference conditions 122
2.4.2 Determination of absorbed dose under reference conditions 123
2.4.3 Absorbed dose at $Zmax$ 123
2.5 Cross-calibration of field ionization chambers 123
2.6 Measurements under non-reference conditions 124
References 125

1. Code of practice for cobalt-60 gamma ray beams

1.1 General

This chapter focuses on practical guidelines on standard dosimetry (beam calibration) for ^{60}Co gamma beams, and recommendations on relative dosimetry. The recommendations are based on the use of calibration coefficients for the absorbed dose in water N_{D,w,Q_0} for the dosimeter in a sample beam with quality Q_0, where Q_0 refers to ^{60}Co. In this situation, $D_{w,Q}$ turns into D_w, K_{Q,Q_0} turns into K_Q, which is 1 and N_{D,w,Q_0} is replaced by $N_{D,w}$. [3]

1.2 Dosimetry equipment

1.2.1 Ionization chambers

Both cylindrical and plane-parallel ionization chambers are recommended as an initial tool for calibrating ^{60}Co gamma ray beams. The reference point of a cylindrical chamber for the purpose of calibration at the standards laboratory and for measurements under reference conditions in the user beam is taken to be on the chamber axis at the centre of the cavity volume. For plane-parallel cameras, it is located on the inner surface of the entrance window, in the center of the window. This point should be located at the reference depth in the water phantom. If a field instrument is used, this should be cross-calibrated against the calibrated reference chamber. [2,5]

1.2.2 Phantoms and chamber sleeves

Water is recommended as the reference medium for measurements of absorbed dose with ^{60}Co beams. The phantom size must exceed at least 5 cm all four sides of the field size, determined at the depth of measurement and be at least 5 g / cm^2 more than the maximum depth at which measurements can be made.

For horizontal beams, the phantom window should be made of plastic with a thickness of t_{win} between 0.2 to 0.5 cm. The water-equivalent thickness of the phantom window (in g / cm^2) should be taken into account when determining the depth of placement of the camera. This thickness is equal to the product $t_{win}\rho_{pl}$, where ρ_{pl} is the density (in g / cm^3). For commonly used plastics PMMA and clear polystyrene, the nominal values ρ_{PMMA}= 1,19 g / $cm^3$and $\rho_{polystyrene}$= 1,06 g / cm^3. can be used to calculate the water equivalent thickness of the window.

For non-waterproof chambers, watertight nozzles made of PMMA with a thickness of less than 1.0 mm should be used. The air gap between the chamber wall and the waterproofing sleeve should be sufficient (0.1-0.3 mm) to balance the pressure in the chamber. For standard dosimetry, use the same waterproofing sleeve that was used to calibrate the user's ionization chamber. If the same waterproofing sleeve that was used for calibration in the calibration laboratory cannot be applied, then another sleeve of the same material and of the same thickness should be used. Plane-parallel chambers if they are permeable to water, or are not equipped with a waterproof cover, should be placed in a protective shell made of predominantly PMMA or other material that is closely adjacent to the walls of the chamber.

Ideally, there should be no more than 1 mm of additional material in front of the cavity of the chamber and beyond it. [4,5]

1.3 Beam quality specification

The gamma-radiation spectrum of the ^{60}Co therapeutic sources used in hospitals and calibration laboratories has a significant contribution from scattered low-energy photons produced both at the source and in the radiation head, but it cannot be expected that differences in the spectrum will affect measurements obtained with ionization chamber by more than a few tenths of a percent. For this reason, the dosimetry of ^{60}Co gamma radiation does not require the determination of radiation quality, but only the name of the radionuclide should be noted.

1.4 Determination of absorbed dose to water

1.4.1 Reference conditions

The reference conditions for the determination of absorbed dose to water in a ^{60}Co gamma-ray beam are given in Table X.1

Table 1.1 Reference conditions for the determination of absorbed dose to water in ^{60}Co gamma-ray beams

Influence quantity	Reference value or reference characteristics
Phantom material	water
Chamber type	cylindrical or plane-parallel
Measurement depth z_{ref}	5 g / cm^2
Reference point of chamber	for cylindrical chambers, on the central axis at the centre of the cavity volume. for plane-parallel chambers, on the inner surface of the window at its centre
Position of reference point of chamber	for cylindrical and plane-parallel chambers, at the measurement depth z_{ref}
SSD or SCD	80 cm or 100 cm
Field size	10 cm x 10 cm

1.4.2 Determination of absorbed dose under reference conditions

The absorbed dose to water at the reference depth z_{ref} in water, in the user ^{60}Co beam and in the absence of the chamber, is given by

$$D_w = MN_{D,w}$$

Where M - readings of the dosimeter at the position of the reference point of the chamber at a depth of z_{ref} in accordance with the conditions described in Table. X.1, and as amended by the effect of temperature and pressure, calibration of the electrometer, polarity and recombination of ions. For devices with ^{60}Co, the timer

error can significantly affect the value of M. $N_{D,w}$ is the calibration factor in terms of absorbed dose to water for the dosimeter at the reference quality ^{60}Co. [1,3]

1.4.3 Absorbed dose at z_{ref}

To determine the absorbed dose in water at a depth of z_{max} for this beam, the user must use the percentage depth dose curves for the SSD method and the tissue ratio maximum for the SAD method.

1.5 Cross-calibration of field ionization chambers

As previously noted, the working chamber (either cylindrical or plane-parallel) can be calibrated in a ^{60}Co beam on the user's device using a calibrated source (reference) chamber. Chambers are compared when each of them is placed in a water phantom at a reference point z_{ref} in accordance with the reference conditions given in table X1. An alternative is to simultaneously compare chambers with each other. The calibration factor in units of absorbed dose in water for a working ionization chamber is represented by the expression:

$$N_{D,w}^{field} = \frac{M_{ref}}{M_{field}} N_{D,w}^{ref}$$

Where M_{ref} and M_{field} are the meter readings per unit time for the reference and field chambers, respectively. $N_{D,w}^{ref}$ calibration factor in units of absorbed dose in water for the source chamber. A working chamber with a calibration factor can be consistently used to determine the absorbed dose in water on a user's device with a ^{60}Co source using the procedure if the value $N_{D,w}$ is replaced $N_{D,w}^{ref}$ [3]

1.6 Measurements under non-reference conditions

Clinical dosimetry requires measurements of the distribution of percentage deep doses along the central axis (PDD), tissue fusion ratios and tissue-maximum ratios, isodose distributions, profile curves in transverse planes and radiation yield coefficients as functions of the size and shape of the field in both standard and non-standard conditions. Such measurements should be carried out for all possible combinations of field sizes and SSD values and SAD used in radiation therapy.

2. Code of practice for high-energy photon beams

2.1 General

This section contains the rules and recommendations for standard dosimetry (beam calibration) for clinical high-energy photon beams, based on the dosimeter calibration factor in units of absorbed dose in water N_{D,w,Q_0} in the reference beam with Q_0 quality. The recommendations apply to photon beams generated by electrons with energies in the range from 1 to 50 MeV. [2,5,7]

For photons, it is generally accepted to use as reference Q_0 gamma radiation ^{60}Co. Some PSDLs give calibration coefficients give the calibration coefficients N_{D,w,Q_0} for other qualities of photons Q, but ^{60}Co is the only source of radiation available to all calibration laboratories without exception. For this reason, all of the data in this section is given to ^{60}Co radiation as a reference radiation. Users who have calibration coefficients obtained on other radiations may, while calibrating, nevertheless use the suggested recommendations, recalculating their various calibration coefficients $N_{D,w,Q}$ into coefficients N_{D,w,Q_0} for ^{60}Co. These ratios of the coefficients $N_{D,w,Q}$ to the N_{D,w,Q_0} for ^{60}Co require experimental determination of the coefficients K_Q. Note that if the reference quality Q_0 is ^{60}Co, the coefficient K_{Q,Q_0} turns to K_Q, and N_{D,w,Q_0} to $N_{D,w}$. Direct measurement of coefficient K_{Q,Q_0} or K_Q for

specific cameras is preferred. If this is not possible, then the tables from these recommendations should be used.

2.2. Dosimetry equipment

2.2.1 Ionization chambers

The recommendations for ionization chambers are as follows: only cylindrical ionization chambers can be recommended for standard measurements in high-energy photon beams. Plane-parallel cameras can only be used for relative dosimetry. It is assumed that for high-energy photon beams, the reference point of a cylindrical chamber during calibration in a calibration laboratory and when measured under standard conditions in a user beam is located on the axis of the chamber in the center of the cavity volume. For a plane-parallel camera, it is located on the inner surface of the entrance window, in its center. This point should be placed at the recommended depth in the water phantom. If a working detector is used, it should be calibrated using a reference camera calibrated with the same radiation quality. [1,3]

2.2.2 Phantoms and chamber sleeves

Water is recommended as a standard medium for measuring absorbed dose and photon beam quality. The phantom should extend to at least 5 cm beyond all four sides of the field size employed at the depth of measurement and also extend to at least 5 g/cm^2 beyond the maximum depth of measurement. For horizontal beams, the phantom window should be made of plastic with a thickness of t_{win} of 0.2 cm and 0.5 cm. The water equivalent thickness (in g/cm ^{2}) of the window is calculated as the product of $t_{win}\ \rho_{pl}$, where ρ_{pl} is the plastic density (in g/cm^3). Commonly used PMMA and pure polystyrene with a nominal value of ρ_{PMMA} = 1.19 g/cm^3 and $\rho_{polystyrene}$ = 1.06 g/cm^3, which can be used to calculate the water equivalent thickness of the window.

For water permeable cameras, use a waterproof PMMK cover, preferably not more than 1.0 mm thick. The air gap between the chamber wall and the waterproofing sleeve should be sufficient (0.1–0.3 mm) to balance the pressure in the chamber. The same waterproofing sleeve that was used to calibrate the user's camera should be used for standard dosimetry. If it is not possible to use the same waterproofing sleeve that was used for calibration in the calibration laboratory, use another sleeve from the same material and same thickness.

2.3 Beam quality specification

2.3.1 Choice of beam quality index

For high-energy photons produced by clinical accelerators the beam quality Q is specified by the tissue-phantom ratio, $TPR_{20,10}$. The ratio of absorbed doses at depths of 20 and 10 cm in a water phantom, measured at a constant distance of the source chamber of 100 cm and a field size of 10 x 10 cm at the level of the chamber.

The most important qualitative characteristic of the $TPR_{20,10}$ is its independence from electron beam contamination. This value is also a measure of the effective attenuation coefficient describing an approximate exponential decrease in the dose depth in an area beyond the maximum dose depth. Since $TPR_{20,10}$ is a dose ratio, there is no need to apply offset correction for two depths when a cylindrical chamber is used. In addition, $TPR_{20,10}$ for most clinical settings does not depend on small systematic errors when installing the camera at each depth. [5.6]

Other definitions are offered in the literature. For example, the percentage dose at a depth of 10 cm or at a depth of 80% of the dose. However, it should be emphasized that this is not a beam quality index that satisfies all possible requirements for the full energy range and all possible accelerators used in hospitals and standards laboratories. This is important to note, since the rays obtained on non-clinical accelerators will not be identical to the bundles of clinical accelerators.

2.3.2 Measurement of beam quality

The experiment plan for determining the $TPR_{20,10}$ value is shown in Fig. 1. Standard measurement conditions are given in table. 1. Although the definition of $TPR_{20,10}$ strictly corresponds to the ratio of absorbed doses, the use of ionization ratios provides acceptable accuracy due to the slow change in the depth of the water-air ratio and the permissible constant perturbation coefficient beyond the depth limit. The effect of recombination of ions at these two depths should be investigated and taken into account if a change with depth is detected. [1,4]

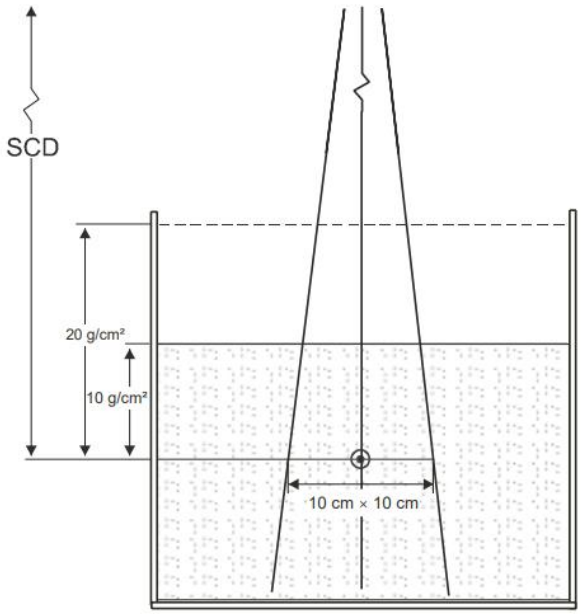

Fig. 1. Experimental set-up for the determination of the beam quality index Q ($TPR_{20,10}$). The source-tochamber distance (SCD) is kept constant at 100 cm and measurements are made with 10 g/cm^2 and 20 g/cm^2 of water over the chamber. The field size at the position of the reference point of the chamber is 10 cm x 10 cm. Either a cylindrical or a plane-parallel ionization chamber can be used. [3]

Table 2.1 Reference conditions for the determination of photon beam quality ($TPR_{20,10}$)

Influence quantity	Reference value or reference characteristics
Phantom material	Water

Chamber type	Cylindrical or plane-parallel
Measurement depths	20 g/cm^2 and 10 g/cm^2
Reference point of chamber	For cylindrical chambers, on the central axis at the centre of the cavity volume. For plane-parallel chambers, on the inner surface of the window at its centre
Position of reference point of chamber	For cylindrical and plane-parallel chambers, at the measurement depths
SCD	100 cm
Field size at SCD	10 cm x 10 cm

2.4 Determination of absorbed dose to water

2.4.1 Reference conditions

Standard conditions for determining the absorbed dose in water are given in Table. 2.1

Table 2.2 Reference conditions for the determination of absorbed dose to water in high-energy photon beams

Influence quantity	Reference value or reference characteristics
Phantom material	Water
Chamber type	Cylindrical
Measurement depth z_{ref}	For $TPR_{20,10} < 0.7$, 10 g/cm^2 (or 5 g/cm^2) For $TPR_{20,10} \geq 0.7$, 10 g/cm^2
Reference point of chamber	On the central axis at the centre of the cavity volume
Position of reference point of chamber	At the measurement depth Z_{ref}
SSD/SCD	100 cm
Field size	10 cm x 10 cm

2.4.2 Determination of absorbed dose under reference conditions

The absorbed dose to water at the reference depth Z_{ref} in water, in a photon beam of quality Q and in the absence of the chamber, is given by

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w.Q_0} k_{Q,Q_0}$$

Where M_Q is the instrument reading at the location of the control point of the chamber at the Z_{ref} point, corrected for pressure and temperature, the calibration coefficient of the electrometer, the effect of polarity and ion recombination. N_{D,w,Q_0} - calibration coefficient in units of absorbed dose in water for a dosimeter with reference radiation quality Q_0 and k_{Q,Q_0} - camera coefficient, characterizing the difference between readings during reference radiation quality Q_0 and measured Q.

2.4.3 Absorbed dose at Z_{max}

However, clinical dosimetry calculations are often referenced to the depth of dose maximum Z_{max} (or at some other depth). To determine the absorbed dose at the appropriate depth the user should, for a given beam, use the central axis percentage depth-dose (PDD) data for SSD set-ups and tissue-phantom ratios (TPR) or tissue-maximum ratios (TMR) for SAD set-ups. [2,4]

2.5 Cross-calibration of field ionization chambers

The previously mentioned operating detector can be calibrated by direct comparison with a camera model calibrated with Q_0 reference quality. The cameras are successively placed in a water phantom at the Z_{ref} control point (another possibility is to locate the cameras nearby). The calibration factor in terms of absorbed dose to water for the field ionization chamber is given by

$$N_{D,w,Q_0}^{field} = \frac{M_{ref}}{M_{field}} N_{D,w,Q_0}^{ref}$$

where M_{ref} and M_{field} are instrument readings per monitor unit (MU) for both chambers, corrected for temperature and pressure, electrometer calibration, influence of polarity and ion recombination, and N_{D,w,Q_0}^{ref} is calibration factor in units of absorbed dose in water for the support chamber. It is desirable that the readings of M_{ref} and M_{field} were actually averaged $(\frac{M_{ref}}{M_{em}})_{avg}$ and $(\frac{M_{field}}{M_{em}})_{avg}$ where $(\frac{M_{ref}}{M_{em}})_i$ and $(\frac{M_{field}}{M_{em}})_i$, are respectively the ratios of the readings of the reference detector and the working device to the readings external monitor. It is desirable that the external monitor be placed inside the phantom approximately at the depth of Z_{ref} at a distance of 3-4 cm from the center of the camera in the direction of the main axis in the transverse plane of the beam. Note that in the case of measurements when the cameras are nearby, an external monitor is not required if the dose distribution over the beam profile is sufficiently uniform. Consequently, a working chamber with a calibration coefficient N_{D,w,Q_0}^{field} can be used to determine the absorbed dose in the water in the beam, according to the procedure when replacing N_{D,w,Q_0} with N_{D,w,Q_0}^{field}.

2.6 Measurements under non-reference conditions

Clinical dosimetry requires the measurements of central-axis percentage depth dose distributions (PDD), tissue-phantom ratios (TPR) or tissue-maximum ratios (TMR), isodose distributions, transverse beam profiles and output factors as a function of field size and shape for both reference and non-reference conditions. Such measurements should be performed for all used energy, field sizes, SSD and SAD used in radiotherapy. [7]

References

1. ANDREO, P., Uncertainties in dosimetric data and beam calibration, Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. 19 (1990) 1233-1247.

2. IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "The use of plane-parallel ionization chambers in high-energy electron and photon beams. An International Code of Practice for Dosimetry", Technical Report Series no. 381, IAEA, Vienna (1997)

3. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water (russian edition). Technical Reports Series 398 / International Atomic Energy Agency. – 2000.

4. Hensley F.W. Dose consumption for quality assurance and maintenance with a dedicated IORT accelerator // Journal of Applied Clinical Medical Physics. — 2009. — Vol. 10, no. 4. — Pp. 188–206.

5. Clinical electron-beam dosimetry: Report of AAPM radiation therapy committee task group no. 25 / F.M. Khan, K.P. Doppke, K.R. Hogstrom et al. // Medical Physics. — 1991. — Vol. 18, no. 1. — Pp. 73–109.

6. Recommendations for clinical electron beam dosimetry: Supplement to the recommendations of Task Group 25 / B.J. Gerbi, J.A. Antolak, F.C. Deibel et al. // Medical Physics. — 2009. — Vol. 36, no. 7. — Pp. 3239–3279.

7. IAEA. Absorbed dose determination in photon and electron beams: An international code of practice. 2nd Ed. — IAEA, 1987.