

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

Институт – Физико-технический
Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
РАЗРАБОТКА ДВУХВОЛНОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕНСИТОМЕТРА	

УДК 621.386.12.616-07:616.71

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АЗА	Прокопьев Александр Эдуардович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПФ	Гоголев Алексей Сергеевич	к. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер А.Р.	к. ф.-м. н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

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

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

Институт – Физико-технический
 Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
 Кафедра – Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Вагнер А.Р.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Прокопьеву Александру Эдуардовичу

Тема работы:

РАЗРАБОТКА ДВУХВОЛНОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕНСИТОМЕТРА	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Источник рентгеновского излучения с максимальным напряжением 60 кВ и током 1 мА; Анод рентгеновской трубки БСВ-29 – Ag; Кристалл кварца Х-срез;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Аналитические исследования по теме «Диагностика остеопороза»; 2. Аналитические исследования по теме «способы монохроматизации излучения» 3. Моделирование с целью подбора оптимальных параметров двухволнового рентгеновского денситометра. 4. Обобщение результатов. Выводы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.01.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПФ	Гоголев Алексей Сергеевич	к. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Прокопьев Александр Эдуардович		

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

Институт – Физико-технический
 Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
 Кафедра – Прикладная физика
 Период выполнения весенний семестр 2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.11.2016	Обзор литературных источников и технической литературы	10
23.12.2016	Моделирование спектра установки	10
10.03.2017	Обработка результатов и анализ полученных данных	10
25.04.2017	Обобщение и оценка результатов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПФ	Гоголев Алексей Сергеевич	к. ф.-м. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер Александр Рудольфович	к. ф.-м. н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Прокопьев Александр Эдуардович

Институт	ФТ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Затраты на специальное оборудование 2247 руб. 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы 275400 руб. 3. Отчисления во внебюджетные фонды 74633 руб. 4. Накладные расходы 1335 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт·ч Районный коэффициент города Томска -1,3
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 27,1%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Прокопьев Александр Эдуардович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Прокопьев Александр Эдуардович

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей микроклимата от оптимальных, шум, вибрация. – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требования к охране труда по работе с ПЭВМ;

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	10.04.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Прокопьев Александр Эдуардович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 с., 28 рис., 15 табл., 20 источников, 2 приложений.

Ключевые слова: двухволновая рентгеновская абсорбциометрия; двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия; рентгеновское излучение; монохроматизация излучения; диагностика.

Объектом исследования является рентгеновский источник для разработки двухволнового рентгеновского денситометра.

Цель работы: Исследование характеристик источника рентгеновского излучения для разработки двухволнового рентгеновского денситометра.

В процессе исследования проводилось моделирование необходимых спектров рентгеновской трубки, так же их нормировка по условиям эксперимента, поиск наиболее оптимального варианта источника с последующей оценкой финансовой составляющей дипломной работы и всех факторов, повлиявших на выполнение работы.

В результате исследования был получен спектр рентгеновской трубки БСВ-29 и сделаны выводы о несоответствии трубки условиям эксперимента, и, как следствие, моделирование рентгеновского источника, удовлетворяющего условиям.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: рентгеновская трубка БСВ-29, материал анода – серебро, анодное напряжение 60 кВ, сила тока 1 мА, материал кристалла – кремний, рентгеновская трубка, материал анода – вольфрам, анодное напряжение 100 кВ, сила тока 1 мА, материал кристалла – кремний.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время для продолжения дальнейших исследований.

Область применения: рентгеновская компьютерная томография и все области деятельности, связанные с контролем качества и безопасностью.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

ПЕРЕЧЕНЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Органический матрикс кости – межклеточное вещество костной ткани позвоночных с высокой концентрацией солей кальция

Трабекулы – пластинки, перегородки и тяжи, образующие остов органа

Резорбция – процесс разрушения (рассасывания, деградации) костной ткани

Эндост – тонкий соединительнотканый слой, выстилающий костную ткань трубчатых костей изнутри с формированием костномозгового канала

Гетерогенное заболевание – одно и то же проявление болезни может быть обусловлено мутациями в разных генах или разными мутациями внутри одного гена

Перименопаузальный период – период жизни женщины, характеризующийся естественным возрастным угасанием функций половой системы

Кортикальный слой кости – оболочка костной ткани, состоящая на 95% из минеральных солей.

Проксимальный отдел большой берцовой кости – верхняя часть большой берцовой кости, которая принимает участие в образовании коленного сустава

Монохроматизация – принцип выделения нужных длин волн из полихроматического спектра излучения

Спектр излучения – распределение интенсивности электромагнитного излучения по частотам или по длинам волн

Поглощенная доза – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу. Выражается как отношение энергии излучения, поглощённой в данном объёме, к массе вещества в этом объёме.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ОП – остеопороз

ДЭРД – двухэнергетический/ая рентгеновский/ая денситометр/ия

ДВРД – двухволновой/ая рентгеновский/ая денситометр/ия

ККТ – количественная компьютерная томография

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

ЖКТ – желудочно-кишечный тракт

МПК – минеральная плотность кости

МПКТ – минеральная плотность костной ткани

ХРИ – характеристическое рентгеновское излучение

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

Оглавление

Введение.....	15
1 Обзор литературы	17
1.1 Клинико-anamнестические данные.....	17
1.2 Общие клинические проявления остеопороза	21
1.3 Рентгенологические данные.....	22
1.4 Результаты лабораторных исследований	24
1.5 Факторы риска.....	24
1.6 Классификация методов диагностики	25
1.6.1 Нейтронно-активационный анализ, локальный и всего тела	26
1.6.2 Комптоновское обратное рассеяние.....	26
1.6.3 Сцинтиграфия скелета.....	27
1.6.4 Рентгенография скелета.....	27
1.6.5 Рентгеноморфометрия и микрорадиоскопия	28
1.7 Получение рентгеновского излучения.....	29
1.7.1 Тормозное рентгеновское излучение	30
1.7.2 Характеристическое рентгеновское излучение	31
1.7.3 Некоторые эффекты взаимодействия рентгеновского излучения с веществом	31
1.7.4 Поглощение рентгеновского излучения веществом	32
1.8 Двухэнергетическая рентгеновская денситометрия.....	33
1.9 Двухволновая рентгеновская денситометрия	37
2 Практическая часть	39
2.1 Моделирование спектра трубки БСВ-29 с Ag-анодом.....	39
2.2 Прохождение рентгеновского излучения через кость	44
2.2 Моделирование спектра рентгеновской трубки с W-анодом.....	46
2.3 Прохождение рентгеновского излучения W-трубки через кость	53
2.4 Расчет поглощенной дозы	60
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	64
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений	65
3.1.2 SWOT-анализ.....	67
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	69
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	69
3.2.2 Контрольные события проекта	70

3.2.3 План проекта.....	71
3.3 Бюджет научного исследования	73
3.3.1 Расчёт материальных затрат	73
3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	75
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	76
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	78
3.3.5 Накладные расходы.....	79
3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	79
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	80
4 Социальная ответственность	84
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	84
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	86
4.2.1 Организационные мероприятия.....	86
4.3 Технические мероприятия.....	86
4.4 Условия безопасной работы.....	89
4.5 Электробезопасность	91
4.6 Пожарная и взрывная безопасность	92
Заключение	95
Список используемой литературы	97
Приложение А	100
Приложение Б	101

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый к разработке денситометр, в первую очередь, будет решать задачи ранней диагностики остеопороза с уменьшенной дозой облучения. Проблема остеопороза чрезвычайно актуальна и по значимости занимает четвертое место среди неинфекционных заболеваний после сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний и сахарного диабета. Остеопению и остеопороз чаще всего обнаруживают при наличии переломов костей или деформации позвоночника. На этой стадии уже потеряно более трети костной массы. Повлиять же на процесс можно тогда, когда речь идет о потерях до 5%. Остеопороз на ранней стадии достаточно прост в лечении. Таким образом, ранняя диагностика заболевания является актуальной задачей.

«Золотым стандартом» диагностики остеопороза в настоящее время считается двухэнергетическая рентгеновская денситометрия (ДЭРД), при которой измеряют минеральную плотность костной ткани. Хотя доза облучения при ДЭРД на два порядка ниже, чем при обычной радиографии, методы не используются, например, при диспансеризации.

Предложенный двухволновой рентгеновский денситометр позволяет на порядок уменьшить дозу облучения и/или увеличить точность измерения плотности костной ткани.

Новизна технических решений заключается в использовании квантовой схемы регистрации излучения и монохроматизации излучения с помощью акустооптического рентгеновского монохроматора. Квантовая/счетная схема регистрации позволяет учесть форму спектра в методах ДЭРД и проводить статистический анализ. Однако, из-за принципиальных ограничений скоростей счета детекторов и использования в ДЭРД всего спектра излучения, для получения удовлетворительной статистической точности требуется увеличенное время облучения, чем при использовании монохроматизированного излучения. Использование монохроматизированного излучения позволяет сократить время облучения в 10-100 раз. Акустооптические рентгеновские монохроматоры

позволяют с высокой эффективностью выделять две линии на 40 и 60 кэВ, необходимые для исследований плотности костной ткани. Отличие акустомонохроматоров, разработанные Томским политехническим университетом в коллаборации с Институтом прикладных проблем физики Национальной академии наук Республики Армении (г. Ереван), от традиционных монохроматоров заключается в использовании эффекта переброски, что позволяет в более чем 100 раз увеличить интенсивность дифрагированного пучка и максимально эффективно использовать современные детекторы, счетная характеристика которых ограничена величиной 10 Мимп/с.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Клинико-анамнестические данные

Термином остеопороз обычно обозначают заболевания разной причинности, характеризующиеся уменьшением массы костной ткани на единицу объема кости, препятствующей осуществлению нормальных механических скелетных функций. Потеря костной массы не сопровождается значимым снижением соотношения органической и минеральной фаз, либо каким-то нарушением структуры минерального компонента и органического матрикса. На клеточном уровне остеопороз характеризуется истончением внешних слоев костей, а также спадом числа и уменьшением размеров трабекул губчатых костей при неизменной ширине остеоидных слоёв эндоста. Остеопороз — наиболее распространенное заболевание костей, связанное с нарушением метаболизма, при котором происходит поражение всех костей скелета, по-видимому, из-за действия на него системных факторов [1].

Перестроение костных тканей (их резорбция и образование)— есть процесс непрерывающийся. Любая вариативность в скорости резорбции и костеобразования, в результате которых резорбция доминирует над образованием, вызывает уменьшение массы костей. В следствии остеопороза костная масса имеет тенденцию к снижению, и значит это, что скорость резорбции костей превышает скорость образования. Остеопороз есть гетерогенное заболевание. По данным большого количества исследований, скорость образования костей соответствует норме либо понижена (хотя в некоторых случаях она может и немного увеличиваться) на фоне абсолютного увеличения скорости резорбции кости (остеопороз высокого кругооборота). Резорбция происходит перед формированием обновленной костной ткани и протекает, скорее всего, интенсивней, но непродолжительней, чем процесс образования. Поэтому в нормальных условиях обнаруживают гораздо большее количество участков активного формирования костей, чем резорбции. Цикл

обновления костных тканей высок, когда есть много участков, где происходит активное формирование, и гораздо ниже, когда таких участков уменьшенное количество. После 40-50-летнего возраста масса костей начинает стремительно уменьшаться (причем у мужчин медленнее, чем у женщин) с различной скоростью по всему скелету в разных его участках. Снижение массы костей в определенных участках исследуется при помощи различных методик, таких как однофотонная и двухфотонная абсорбциометрия позвоночника, запястья и шейки бедра. Например, темп уменьшения костной массы в запястье, пяточной кости, предплечье, шейке бедра и телах позвонков выше, чем, например, в средней части бедра, большой берцовой кости и костях черепа. Спустя 30-40 лет полная потеря массы костей может составлять около 30—50% от той, которая имелаась в тридцатилетнем или сорокалетнем возрасте.

Заключение, что у определенных людей с диагнозом остеопороз резорбция кости заметно ниже, особенно в губчатых костях, служит последующим доказательством гетерогенности заболевания и показывает отсутствие единой для всех причины появления болезни. В какой-то критический момент при постоянной разнице в скоростях резорбции и костеобразования потеря костного вещества становится настолько выраженной, что кость больше не выдерживает сопротивления нормальным механическим силам, действующим на нее, и случается перелом. С этого момента остеопороз становится клинической проблемой. Уровень уменьшения костной массы, достаточный для появления переломов при минимальных травмах, варьируется. Например, сопротивляемость позвонка может зависеть и от других факторов, таких как состояние связок и изменение межпозвоночных дисков. Изменяется также нормальное трабекулярное строение костей. Например, при остеопорозе в основном теряются горизонтальные трабекулы позвонков. Нередко возможно появление микропереломов.

Хоть снижение массы костей в следствие старения — процесс универсальный, у женщин, особенно в перименопаузальный период, он начинается гораздо раньше и протекает значительно быстрее, чем у мужчин.

Известны определенно не все причины возрастного уменьшения массы костей, но у той группы лиц, у которых она становится настолько большой, что обуславливает возникновение переломов при минимальном внешнем воздействии, выявлен ряд факторов риска. В общем и целом, у женщин европеоидной популяции риск выше, чем у представительниц негроидной популяции; то же самое справедливо и для пациентов мужского пола. Одним из объяснений данных популяционных различий можно считать, что костная масса при созревании скелета определяет костную массу в последствии, и к полному созреванию масса скелета у представителей негроидной расы выше, чем у европеоидной. У больных с остеопорозом чаще всего обнаруживаются слабо развитая мускулатура и сравнительно меньшая масса тела, чем у лиц без остеопороза. Физические нагрузки могут положительно сказываться на сохранении костной массы. Данные, свидетельствующие о том, что у некоторых представительниц женского пола менопауза сопровождается увеличением скорости уменьшения костной массы и что в случаях двусторонней оофорэктомии, сделанной до нормального менопаузального возраста, развивается преждевременный остеопороз, позволяют судить о существенной роли эстрогенов в предотвращении заболевания. Более того, у женщин с остеопорозом менопауза наступает раньше, чем у женщин без остеопороза. Среди курящих женщин так же более высок риск возникновения остеопороза. Оно могло бы оказывать влияние как непосредственно на перестройку костей, так и неявно – через изменение функции яичников. Потребление и эффективность всасывания кальция в кишечнике тоже оказывают влияние на костную массу. [2]

Классификация остеопороза

Первичный остеопороз:

- идиопатический ювенильный ОП;
- идиопатический ОП у молодых взрослых;
- инволютивный ОП;
- а) тип I («постменопаузальный» ОП);

б) тип II («сенильный» ОП).

Вторичный остеопороз:

- гиперкортизолизм;
- гипогонадизм;
- гипертиреозидизм;
- гиперпаратиреозидизм;
- заболевания, требующие приема антиконвульсантов;
- синдром мальабсорбции;
- ревматоидный артрит;
- диффузные заболевания соединительной ткани;
- хронические неврологические заболевания*;
- хронические обструктивные заболевания легких;
- опухоли**;
- алкоголизм;
- нервная анорексия.

* Гемиплегия и гемипарез, определяющие степень иммобилизации: ОП более выражен на стороне поражения.

** Множественная миелома, миелопролиферативные заболевания: опухоли выделяют медиаторы ИЛ-1 и ИЛ-6, повышающие резорбцию кости. [1]

В некоторых случаях остеопороз являет собой проявление других заболеваний, таких как, например, синдрома Кушинга. Так же, нарушения скелета, которые также можно было бы считать остеопорозом (снижение костной массы при нормальной минерализации), характерны и для некоторых наследственных заболеваний соединительной ткани. Однако, в большинстве случаев, остеопороз не сопровождается другими заболеваниями. Эту категорию остеопороза, для удобства, можно разделить на несколько форм. Одна из них проявляется у детей и лиц молодого возраста обоего пола с адекватной работой и функционированием половых желез. Ее принято называть идиопатическим остеопорозом, хотя, по сути, патогенез у большинства других форм неизвестен. [2]

Остеопороз I типа чаще всего находят у представителей женского пола в постклимактерическом периоде (51—65 лет), и он определяется ускоренным уменьшением плотности трабекулярных костей по отношению к кортикальным. Наиболее частыми осложнениями у лиц этой группы являются переломы тел позвонков и дистальных отделов предплечья. Снижение функции околощитовидных желез у таких больных может отражать компенсаторную реакцию на усиленную резорбцию кости.

Так называемый остеопороз II типа обнаруживают у достаточно большого числа мужчин и женщин старше 75 лет. У них чаще всего возникают переломы шейки бедра, проксимальных отделов большой берцовой кости и костей таза. Эти участки скелета представлены как кортикальной (плотной), так и трабекулярной костной тканью. [2]

1.2 Общие клинические проявления остеопороза

Хоть остеопороз — это генерализованное поражение скелета, его основные клинические проявления обуславливаются переломами определенных участков скелета: костей запястий, бедренных, плечевых и больших берцовых костей, а также позвонков в зависимости от описанных выше форм заболевания (остеопороз I или II типа). Наиболее характерными симптомами разрушения тел позвонков являются боль в спине и деформация позвоночника. Острая и частая боль обуславливается обычно сплющиванием позвонков преимущественно в верхнем поясничном и нижнем грудном отделах, возникает, и, как правило, распространяется (иррадиирует) в переднем направлении по обеим сторонам живота. Такие болевые ощущения часто возникают вследствие быстрых поворотов тела, вставания или прыжковых движений, не выходящих за рамки обычной двигательной активности; в некоторых случаях болевые приступы вообще не удается связать с травмой. Даже такие движения, как повороты туловища, могут значительно усиливать болевые ощущения. Относительная неподвижность тела в постели может уменьшить болевые ощущения, но потом

они возвращаются в виде различных по времени продолжительности спазмов. Распространение боли в нижние конечности (одну или обе) происходит относительно редко, а симптомы и признаки сдавливания спинного мозга — лишь в очень редких случаях. Острые приступы могут быть сопровождаемы в том числе вздутием живота и кишечной непроходимостью, связанной, скорее всего, с забрюшинным кровоизлиянием, но, непроходимость иногда может быть обусловлена применением лекарственных препаратов наркотического действия в период острых болей. Кроме того, наблюдаются ухудшение аппетита и явная мышечная слабость, что связано, вероятно, с опасением рецидива боли. Через несколько дней приступы боли в большинстве случаев прекращаются, и через 4—6 нед. больной вполне может вернуться к обычной физиологической активности. На фоне микроскопических острых болей на месте перелома, у пациентов возникают ноющие и тупые неприятные ощущения на месте перелома, особенно в следствие резкого изменения положения тела. Больному бывает трудно садиться в кровати, и он встает, придерживаясь за окружающие предметы. У большинства больных в периоды между переломами тел позвонков боли либо совсем исчезают, либо резко уменьшаются. У других вообще не бывает острых болей, но при вставании или быстрых движениях неприятные ощущения в спине усиливаются. Это особенно характерно для переломов в середине грудного отдела позвоночника, которые могут не сопровождаться болями, но приводят к дорсальному кифозу и усилению шейного лордоза (горб аристократки). У женщин с остеопорозом часто наблюдается и сколиоз. Распространяющиеся по всему скелету боли в костях встречаются реже, и у большого количества больных в периоды между переломами боли вообще отсутствуют. [2]

1.3 Рентгенологические данные

Еще до появления переломов остеопороз тел позвонков проявляется уменьшением их минеральной плотности, увеличением вертикальной

исчерченности костей из-за относительно большой потери горизонтально ориентированных трабекул и усилением рисунка концевых пластинок.

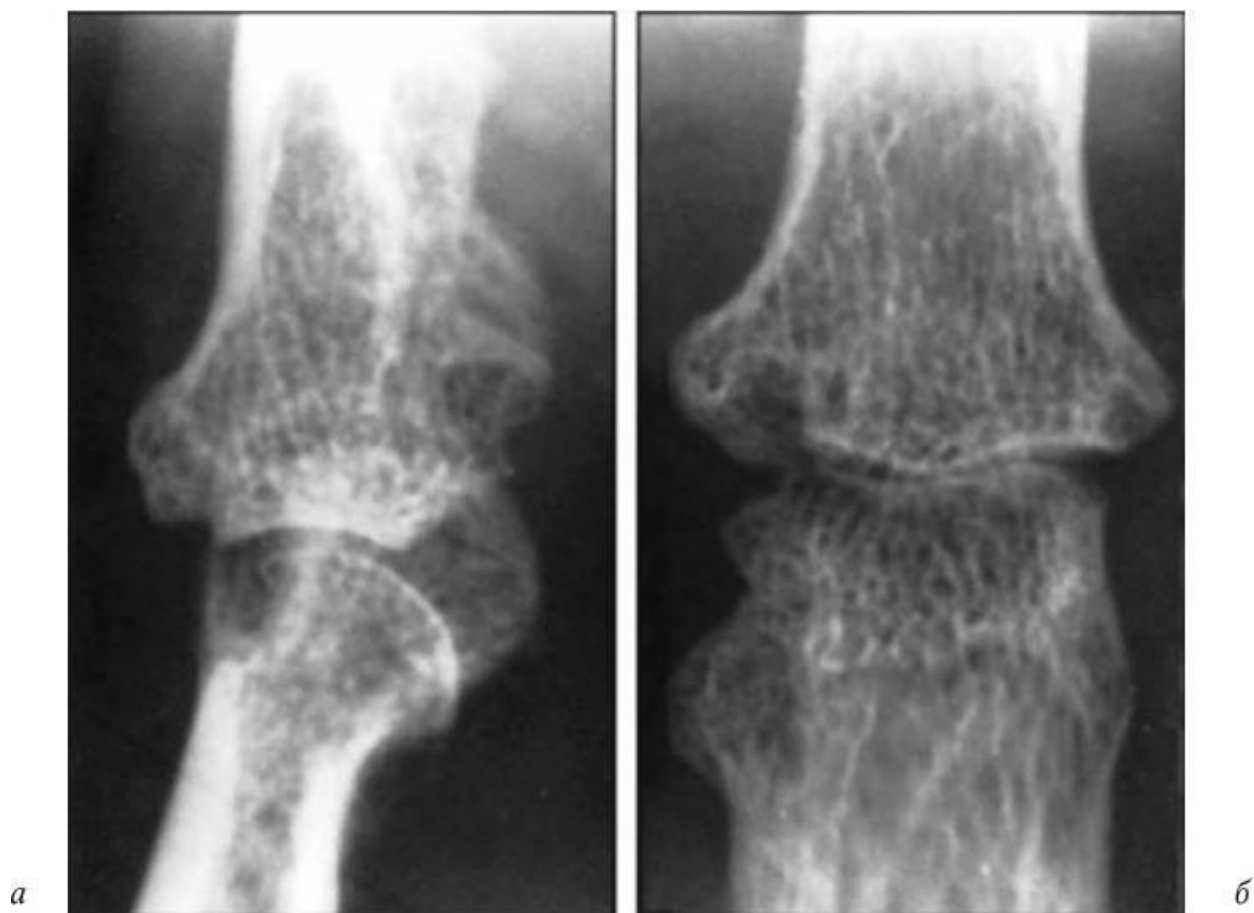


Рисунок 1.1 – Рентгенограмма дистального межфалангового сустава III пальца больного IV стадией первичного остеопороза

Тела позвонков могут становиться все более вогнутыми сверху и снизу, что придает им вид так называемых «позвонков трески». При возникновении переломов высота переднего края позвонка вероятнее всего уменьшается, и передняя поверхность кортикального слоя теряет свою гладкость. Хотя кортикальный слой длинных костей вследствие усиленной эндостальной резорбции может истончаться, наружные их края остаются четкими, что отличает эти изменения от типичных последствий субпериостальной резорбции при гиперпаратиреозе. При остеопорозе без остеомалиции ложные переломы, или зоны Лоозера, отсутствуют, но по одним лишь рентгенологическим данным отличить остеопороз от остеомалиции бывает невозможно. Если переломы отсутствуют, то при помощи стандартного рентгенографического исследования

невозможно обнаружить уменьшение костной массы, поскольку потери в массе могут достигать почти 30%, никак при этом не проявляясь рентгенологически. Для того, чтобы выяснить, достигает ли снижение костной массы у данного больного той степени, которая сопряжена с опасностью переломов, необходимы другие методики. [2]

1.4 Результаты лабораторных исследований

У больных с диагнозом остеопороз концентрации кальция и неорганического фосфора в крови обычно в пределах нормы; у женщин после менопаузы наблюдается легкая гиперфосфатемия. В неосложненных случаях активность щелочной фосфатазы остается нормальной, но при переломах она может несколько возрастать. Примерно у 20% женщин с остеопорозом, вызванным постклимактерическими изменениями, имеется значительная гиперкальциурия. Экскреция с мочой содержащих гидроксипролин пептидов, отражающая степень резорбции костной ткани, обычно нормальна или слегка повышена. [2]

1.5 Факторы риска

Факторами риска ОП являются:

- Менопауза до 45 лет.
- Семейный анамнез переломов у пожилых женщин.
- Тонкие (небольшие) кости.
- Низкая масса тела.
- Малоподвижный образ жизни.
- Одинокий образ жизни.
- Преклонный возраст (старше 75 лет).
- Алкоголизация и курение.
- Дефицит кальция и витаминов в рационе питания.

- Регулярный прием двух чашек кофе в день.
- Прием лекарственных препаратов (кортикостероидов, тетрациклина и др.). [1]

ОП является совокупностью нескольких факторов. Существенную роль играет недостаточность гонадных гормонов, эндокринные нарушения (гиперкортицизм, тиреотоксикоз, сахарный диабет), малая физическая активность, недостаток белка и кальция в питании (алиментарная недостаточность, дефицит лактозы).

Космонавты в состоянии невесомости и люди, соблюдающие строгий постельный режим, ежемесячно теряют примерно 1 % костной массы, в то время как физические упражнения существенно снижают ее потерю. [4]

1.6 Классификация методов диагностики

Классификация методов диагностики остеопороза:

- Лучевая диагностика остеопороза;
- Гистологический метод. Биопсия кости;
- Лабораторный, биохимический метод;
- Клинико-anamнестический метод.

Лучевая диагностика остеопороза:

•Рентгеновские лучи:

- Рентгеноморфометрия
- Микрорадиография
- Рентгенография скелета
- Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия

•Излучение радионуклидов:

- Сцинтиграфия скелета
- Однофотонная и двухфотонная абсорбциометрия
- Нейтронно-активационный анализ (локальный и всего тела)
- Комптоновское обратное рассеяние [5]

1.6.1 Нейтронно-активационный анализ, локальный и всего тела

Нейтронно-активационный анализ – сложный технический метод, который по технике безопасности нужно проводить лишь в специализированных центрах. В методе используются нейтроны ускорителя или реактора для того, чтобы из стабильного изотопа получить путём бомбардировки радиоактивный изотоп ^{49}Ca . Этот изотоп имеет период полураспада 8,9 мин. и испускает в процессе распада γ -излучение с энергией 3,1 мэВ, которая в последствии и измеряется. Активность ^{49}Ca после надлежащей коррекции из-за непостоянности толщины тела пропорциональна количеству костных минералов в шестидесятисантиметровом измеряемом участке туловища или проксимальной части бедра. Результаты выражаются индексом. Нормальный индекс костного кальция равен $1 \pm 0,12$ и выражает количество кальция у исследуемого по отношению к среднему его количеству у здорового человека, имеющего идентичные рост и ширину плеч.

В большой популяции больных остеопорозом с рентгенологически подтверждёнными переломами костей индекс костного кальция составляет $0,69 \pm 0,10$; это выраженное различие с нормальным показателем при потере до 30% костных минералов.

Наряду с измерением скелета туловища можно исследовать также кости конечностей, чаще всего в этом случае определяется индекс кальция в кисти.

Как основной недостаток данного метода исследований, можно указать очень высокую стоимость экспериментов при относительно высокой точности.

[6]

1.6.2 Комптоновское обратное рассеяние

При помощи этого метода определяется абсолютная плотность изолированного объёма ткани, опираясь на её электронную плотность. Кроме

ККТ, он является уникальным методом, дающим возможность проводить измерения только на трабекулярных костях.

Метод основан на измерении рассеянного излучения от источника гамма-лучей с энергией 100-700 кэВ и используется для измерений плотности пяточной кости, позвоночника и лучевой кости.

Лучевая нагрузка варьирует от 2 до 20 Зв.

Метод остается в значительной степени правомочным для исследовательских работ, но широкого клинического применения он получить не смог вследствие высокой лучевой нагрузки.

1.6.3 Сцинтиграфия скелета

Статическая сцинтиграфия скелета (остеосцинтиграфия) — радиоизотопная методика для исследований суставов и костей. Сцинтиграфия скелета незаменима для выявления новых областей роста (при образовании метастазов) и исследования повреждений костей (при инфекции, травмах, дегенеративных изменениях). При помощи сцинтиграфии скелета проводятся исследования суставов, длинных трубчатых костей, грудины, костей черепа, лопаток, тазовых костей, а также позвоночника. Достоинством сцинтиграфии скелета является возможность выявлять повреждения костей раньше, чем с помощью рентгенографии. Ограничениями широкого распространения сцинтиграфии скелета в диагностической практике являются ее высокая стоимость и особые требования к радиационной безопасности. [5]

1.6.4 Рентгенография скелета

В наши дни рентгенография является основным методом диагностики повреждений скелета. Кроме этого, рентгенография используется при исследовании легких, желудочно-кишечного тракта, почек и других органов.

Однако даже столь популярный метод имеет ряд недостатков, таких как:

- Информативность стандартной рентгенографии гораздо ниже таких современных методов медицинской визуализации, как КТ, МРТ, ДЭРД и др. Обычные рентгеновские снимки есть не что иное как результат наложения друг на друга теней от различных и сложных анатомических структур, т. е. изображение представляет собой общую рентгеновскую тень, для расшифровки которого требуются специальные знания и опыт.

- «Статичность» изображения — сложность оценки функционирования органа.

Рентгенологическое исследование, вопреки перечисленным недостаткам, распространено очень широко, так как позволяет уточнить форму различных органов, их тонус, перистальтику, положение, состояние рельефа слизистой оболочки и др. [7]

1.6.5 Рентгеноморфометрия и микрорадиоскопия

Нордин и Барнетт в 1960 году разработали наиболее подходящий для практики метод количественного анализа рентгенограмм, не требующий сложного оборудования. Для периферического индекса измеряется толщина кортикального слоя бедренной кости примерно на 10 сантиметров ниже малого вертела и второй пяточной кости в её середине, а для центрального индекса — высоту тела позвоночника L II и L III в вентральном отделе и в её середине на боковой рентгенограмме поясничного отдела позвоночника. У здоровых людей индекс пяточной кости превышает 43%, бедренной — 54% и позвоночника — 80%. Подобный кортикальный индекс можно измерить также в других костях, например, индекс ключицы или индекс четвёртого или пятого ребра.

Важным методом подтверждения диагноза изменения костной массы является микрорадиоскопия. Метод основывается на распознавании различных форм костной резорбции в пястных костях. Рентгенограмму кисти исследуемого снимают в прямой проекции на мелкозернистой технической плёнке, при этом применяют рентгеновские лучи несколько повышенной жёсткости. После

проявления снимка рассматривают с помощью лупы (6-8 кратное увеличение) пястье. Таким образом, можно без труда разграничить интракортикальную, эндостальную и периостальную резорбцию и получить, тем самым, указание на генез имеющейся остеопатии. Увеличенная эндостальная резорбция обнаруживается при физической возрастной атрофии, локальных процессах декальцинации (ревматоидный артрит, опухоли костей) или является выражением остеопороза от бездействия. При помощи определения комбинированной толщины кортикального слоя можно проводить и динамические наблюдения. Если имеется чрезмерная эндостальная резорбция, то с большой вероятностью можно думать, что перед нами выраженный инволютивный остеопороз или даже гиперпаратиреоз.

Никакие другие (сравнительно простые) методы не способны лучше документировать подобный терапевтический эффект, чем микрорадиоскопия. [5]

1.7 Получение рентгеновского излучения

Рентгеновские лучи возникают при столкновении быстрых электронов в газоразрядной трубке с очень низким давлением с веществом катода либо стенками трубки. Разность потенциалов между анодом и катодом достигает нескольких сотен киловольт. Катод есть не что иное как вольфрамовая нить, подогреваемая электрическим током. И, в результате термоэлектронной эмиссии, происходит испускание электронов катодом, которые впоследствии ускоряются электрическим полем в рентгеновской трубке. Так как в трубке имеется очень небольшое количество молекул газа, то электроны почти не испытывают взаимодействий с ними, и, как следствие, почти не теряют собственной энергии. Они достигают анода с очень большой скоростью.

Рентгеновское излучение возникает всегда, когда движущиеся на большой скорости электроны сталкиваются с материалом анода, но, так же

происходят потери энергии в виде тепла, поэтому рентгеновские трубки требуют искусственного охлаждения.

Аноды для рентгеновских трубок делают из тугоплавких металлов, таких как вольфрам, серебро, молибден, цинк и другие. Часть энергии, не рассеянной в форме тепла, превращается в электромагнитное излучение. Таким образом, рентгеновские лучи являются результатом бомбардировки электронами вещества анода. Есть два типа рентгеновского излучения: тормозное и характеристическое. [8]

1.7.1 Тормозное рентгеновское излучение

Тормозное излучение возникает при торможении электронов электрическим полем вблизи анода. Для отдельного электрона условия торможения различны. В результате в энергию рентгеновского излучения переходят различные части их кинетической энергии.

Спектр тормозного рентгеновского излучения не зависит от вещества анода, а определяется лишь начальными кинетическими энергиями электронов. Как давно известно, энергия фотонов рентгеновского излучения определяет их частоту и длину волны. Именно поэтому тормозное рентгеновское излучение не является монохроматическим, а характеризуется разнообразием длин волн, которое может быть представлено сплошным (непрерывным) спектром.

Рентгеновские лучи не могут иметь энергию больше кинетической энергии образующих их электронов. Наибольшая кинетическая энергия тормозящихся электронов соответствует наименьшей длине волны тормозного излучения. Чем выше разность потенциалов между катодом и анодом, тем с меньшей длиной волны рентгеновское излучение можно получить.

1.7.2 Характеристическое рентгеновское излучение

Характеристическое рентгеновское излучение, в отличие от тормозного, имеет не сплошной, а дискретный спектр. Данный тип излучения возникает, когда быстрые электроны, проникая во внутренние оболочки атомов анода, выбивают один из атомных электронов. В результате этого взаимодействия появляется «вакантное» место, которое может быть заполнено другим электроном, спускающимся с одной из верхних атомных орбиталей. Такой переход электрона с более высокой атомной орбитали на более низкую, сопровождается выделением гамма-излучения с определенной длиной волны. Поэтому ХРИ имеет дискретный спектр. Частота линий характеристического излучения полностью зависит от структуры атомов анода.

Линии спектра различных химических элементов имеют идентичный вид, поскольку строение атомных орбиталей у различных элементов абсолютно идентично. Чего нельзя сказать про частоту и длину волны, поскольку они разнятся в результате различий между легкими и тяжелыми ядрами.

Частота линий спектра характеристического рентгеновского излучения изменяется в соответствии с атомным номером металла и определяется уравнением Мозли:

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B), \quad (1)$$

где Z - атомный номер химического элемента, A и B - константы. [9]

1.7.3 Некоторые эффекты взаимодействия рентгеновского излучения с веществом

Как было сказано выше, рентгеновское излучение способно возбуждать молекулы и атомы веществ анода. Это может вызвать флюоресценцию определенных веществ (например, сульфата цинка). Если направить параллельные рентгеновские пучки на определенные непрозрачные объекты, то

можно наблюдать прохождение лучей через объект, поставив покрытый флюоресцирующим веществом экран, который можно заменить фотографической пленкой.

Рентгеновское излучение воздействует на фотографическую эмульсию так же, как и свет. [10]

1.7.4 Поглощение рентгеновского излучения веществом

При прохождении рентгеновских лучей через вещество их энергия уменьшается из-за поглощения и рассеяния. Ослабление интенсивности параллельного пучка рентгеновских лучей, проходящих через вещество, определяется законом Бугера:

$$I = I_0 \cdot e^{-\Sigma d}, \quad (2)$$

где I_0 - начальная интенсивность рентгеновского излучения; I - интенсивность рентгеновских лучей, прошедших через слой вещества, d – толщина поглощающего слоя, Σ - линейный коэффициент ослабления. Он равен сумме двух величин: τ - линейного коэффициента поглощения и σ - линейного коэффициента рассеяния:

$$\Sigma = \tau + \sigma \quad (3)$$

Экспериментально обнаружено, что линейные коэффициенты поглощения зависят от атомного номера вещества и длин волн рентгеновского излучения:

$$\tau = k\rho Z^3 \lambda^3, \quad (4)$$

где k - коэффициент прямой пропорциональности, ρ - плотность вещества, Z – атомный номер элемента, λ - длина волны рентгеновских лучей.

Зависимость от атомного номера очень важна с точки зрения применения на практике. Например, коэффициент поглощения костей, состоящих из фосфата кальция, почти в 150 раз превышает коэффициент поглощения для мягких тканей ($Z=20$ для кальция и $Z=15$ для фосфора). При прохождении рентгеновских лучей через тело человека, кости четко выделяются на фоне соединительной ткани, мышц и т.п.

Известно также, что органы пищеварения имеют такую же величину коэффициента поглощения, что и другие мягкие ткани. Но тень пищевода, желудка и кишечника можно различить, если пациент примет внутрь контрастное вещество - сернокислый барий ($Z=56$ для бария). Сернокислый барий крайне непрозрачен для рентгеновского излучения и очень часто используется для рентгенологического обследования ЖКТ. Определенные непрозрачные смеси вводят в кровяное русло для того, чтобы исследовать состояние кровеносных сосудов, почек и т.п. В качестве контрастирующего вещества в данном случае используют йод с атомным номером 53. [9,10]

1.8 Двухэнергетическая рентгеновская денситометрия

На современном этапе диагностики костных заболеваний, в частности остеопороза, «золотым стандартом» является двухэнергетическая рентгеновская денситометрия (ДЭРД). [11]

Двухэнергетическая визуализация осуществляется при помощи использования двух спектров излучения (получаемых различными напряжениями на трубке или с помощью фильтров). Метод основан на зависимости массового коэффициента поглощения от энергии излучения, определяющегося атомным номером. Целью двухэнергетической визуализации является получение неких селективных изображений, позволяющих с огромной точностью оценивать плотность интересующего материала (кости). Метод позволяет, например, получать селективные изображения обызвествлений и мягких тканей,

Принцип работы данных приборов основан на прохождении рентгеновского излучения через кость к детектору. Детектор регистрирует интенсивность пропущенных через кость двух узких рентгеновских пучков высокой и низкой энергии, что позволяет значительно повысить точность исследований. [12]

Вычисление минеральной плотности кости проводится из системы уравнений:

$$\begin{cases} N_1 = N_{01} \exp(-\mu_{b1}t_b\rho_b - \mu_{s1}t_s\rho_s - \mu_{f1}t_f\rho_f) \\ N_2 = N_{02} \exp(-\mu_{b2}t_b\rho_b - \mu_{s2}t_s\rho_s - \mu_{f2}t_f\rho_f) \end{cases} \quad (5)$$

где N_1, N_2 и N_{01}, N_{02} — количество импульсов, зарегистрированных детекторами после прохождения излучения через исследуемый участок и внутренний фантом (модель, воспроизводящая часть тела человека с известными параметрами, использованная как образец сравнения), соответственно; t_b, t_s, t_f — толщина кости, тощих и жировых тканей; $\mu_{b1}, \mu_{s1}, \mu_{f1}$ и $\mu_{b2}, \mu_{s2}, \mu_{f2}$ — массовые коэффициенты ослабления рентгеновского излучения при энергии излучения 40(1) и 59,4(2) кэВ соответственно; ρ_s и ρ_f — плотности тощих и жировых тканей; ρ_b — неизвестная плотность кости, которую требуется определить.

Для решения системы уравнений принимается допущение, что коэффициенты ослабления для энергий 40 и 59,4 кэВ постоянны. В приложении I показана принципиальная схема работы устройства.

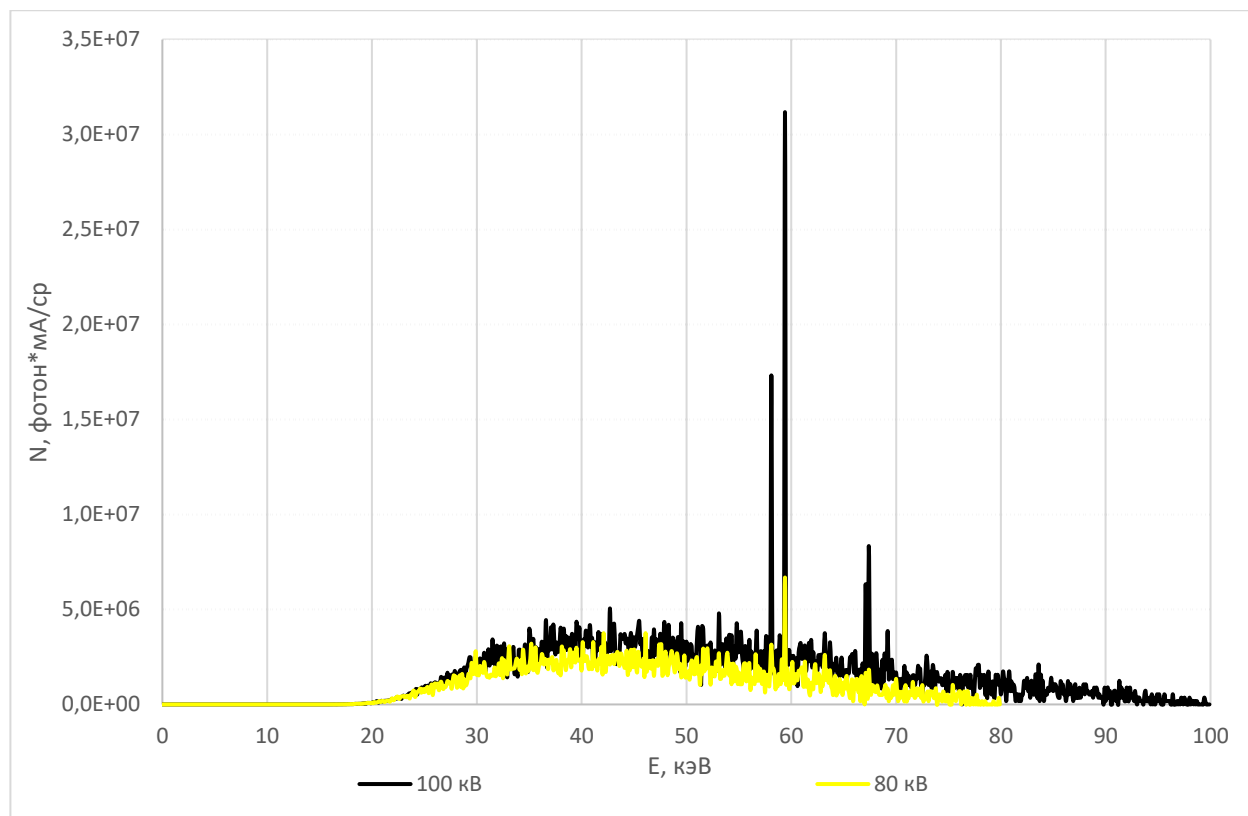


Рисунок 1.2 – Спектр рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом в зависимости от разности потенциалов

В зависимости от возможностей аппарата, методом ДЭРД можно исследовать различные участки скелета. Для наглядности удобнее всего измерять минеральную плотность кости (МПКТ) на двух уровнях предплечья или пяточной кости. Ультрадистальная часть предплечья, как и пяточная кость, в большей степени состоят из губчатого вещества. По МПК данных участков губчатых костей можно впоследствии судить об изменениях структуры губчатых костей в других частях скелета, например, в позвоночнике. Коэффициенты корреляции между МПКТ предплечья и позвоночника, по данным различных авторов, составляют от 0,27 до 0,67.

Медиодистальная часть предплечья в большей степени отражает состояние компактного вещества костной ткани. Результаты этих исследований позволяют оценивать риски переломов длинных трубчатых костей. У измерений на пятке и предплечье имеется значительные преимущество — они дешевле, быстрее, плюс при использовании этого метода практически

исключается влияние жировой ткани на результаты, а значит, что увеличивается точность и воспроизводимость показателей.

Степенью точности денситометров данного типа является исследование разности результатов, полученных при измерении плотности костной ткани трупа и ее последующим хим. Анализом на определение гидроксиапатита. Эта разница есть не что иное как "истинная" ошибка степени точности. Точность метода ДЭРД на аппаратах различного класса зависит от его характеристик и зоны обследования. На предплечье и пятке она составляет от 0,5 до 1%, на бедре и позвоночнике 3-5%.

Воспроизводимость — это величина погрешности при повторных обследованиях. У современных денситометров класса ДЭРД она составляет менее 1 %.

В медицинской практике денситометрия применяется для:

1. стандартных обследований при выявлении симптомов;
2. выявления бессимптомных случаев заболевания;
3. подтверждения диагноза для больных с данными рентгенографии;
4. определения скорости деминерализации костной ткани;
5. оценки эффективности лечения.

И, в результате обследования, можно получить вот такие параметры:

- минеральная плотность костной ткани (МПКТ) в $\text{мг}/\text{см}^3$;
- показатель T;
- показатель Z.

Показатели Z и T — расчетные параметры стандартного отклонения. Показатель Z отражает, как соотносится МПКТ у данного пациента с нормами у данной возрастной группы.

В клинической практике гораздо чаще применяется показатель T, показывающий разницу между МПКТ пациента и критериями пиковой костной массы (возраст 40-летних лиц в контрольных группах).

1.9 Двухволновая рентгеновская денситометрия

В приложении II показана основная идея технологии: генерация излучения с использованием рентгеновской трубки в качестве источника излучения, разделение узких монокроматических линий излучения с использованием блока кристаллоанализаторов, обнаружение разделенных линий с использованием одного или двух сцинтилляторов, пропускание комбинированного излучения спектра через кость (или другую среду), и анализ уровня поглощенной радиации для этих узких линий. Согласно условию Вульфова-Брэгга, при использовании изогнутых кристаллов, например, кремния, происходит монокроматизация рентгеновского излучения и почти не теряется интенсивность, поскольку, как было сказано выше, кристалл изогнут и выступает в качестве собирающей «линзы» для рентгеновского излучения. [14] Для достижения индивидуальной регистрации различных энергетических линий в случае наличия одного сцинтиллятора используются аппаратные (электронные) методы разделения.

Как правило, многокомпонентный анализ кости, а также мягких тканей человека основан на трехкомпонентном методе (кость-жировая-тощая ткань), и для этого анализа поглощенной радиации достаточно двух линий с разной энергией (низкая и высокая энергия). Решение системы уравнений, как и для ДЭРД (5) дает данные о доле каждой составляющей.

Предлагаемый способ монокроматизации реализуется с использованием кристаллического монохроматора, при этом модуль монокроматизации может быть реализован несколькими методами, в частности для анализа более чем двух пиков, и позволяющий определить концентрацию в сколько угодно необходимых компонентах фракции среды. Он может быть использован, например, монокристалл и самый первый и второй (или более высокий) порядок дифракции излучения на кристалле для роли двух линий для анализа. Другая возможность состоит в том, чтобы использовать количество кристаллических монохроматоров, настроенных для разделения различных энергетических

линий, и каждый дифрагированный от излучения монохроматора детектируется отдельным детектором. В этом случае сохраняется возможность различать несколько порядков дифракции от отдельного кристалла и использование каждого из них в качестве определенного уровня энергии. Поэтому есть возможность выбрать любую схему, удовлетворяющую конкретной проблеме. Кроме того, параметры источника рентгеновского излучения (материал анода, напряжение и ток рентгеновской трубки) могут быть легко оптимизированы для конкретной проблемы.

Чтобы подойти к решению вышеприведенной задачи - определению состава потока жидкости в приближении с тремя подходами, мы предлагаем, по нашему мнению, наиболее перспективные варианты: рентгеновскую трубку с серебряным анодом и напряжением 60 кВ на ней как источник излучения и специально сконструированный кристаллический монохроматор-анализатор для разделения двух энергетических линий. Такой монохроматор представляет собой пару склеенных между собой кристаллических пластин, различающихся по размеру и различной ориентации плоскости кристалла. Одна из линий должна соответствовать характеристическому излучению K_{α} , вторая - тормозному излучению с энергией порядка 40 кэВ. Для разделения рабочих линий были выбраны два кристалла кремния (4 4 4) и (4 0 0). Такой метод позволяет отражать две энергетические линии в четвертом разрешенном порядке дифракции и излучение, соответствующее более высоким порядкам для обоих кристаллов, отсутствующих в спектре рентгеновской трубки. [13]

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Моделирование спектра трубки БСВ-29 с Ag-анодом

Входные данные: рентгеновская трубка БСВ-29, материал анода – Ag. Сила тока – 1 мА, максимальное анодное напряжение – 60 кВ.

Было произведено моделирование спектра рентгеновской трубки в пакете GEANT4 с использованием следующей геометрии эксперимента:

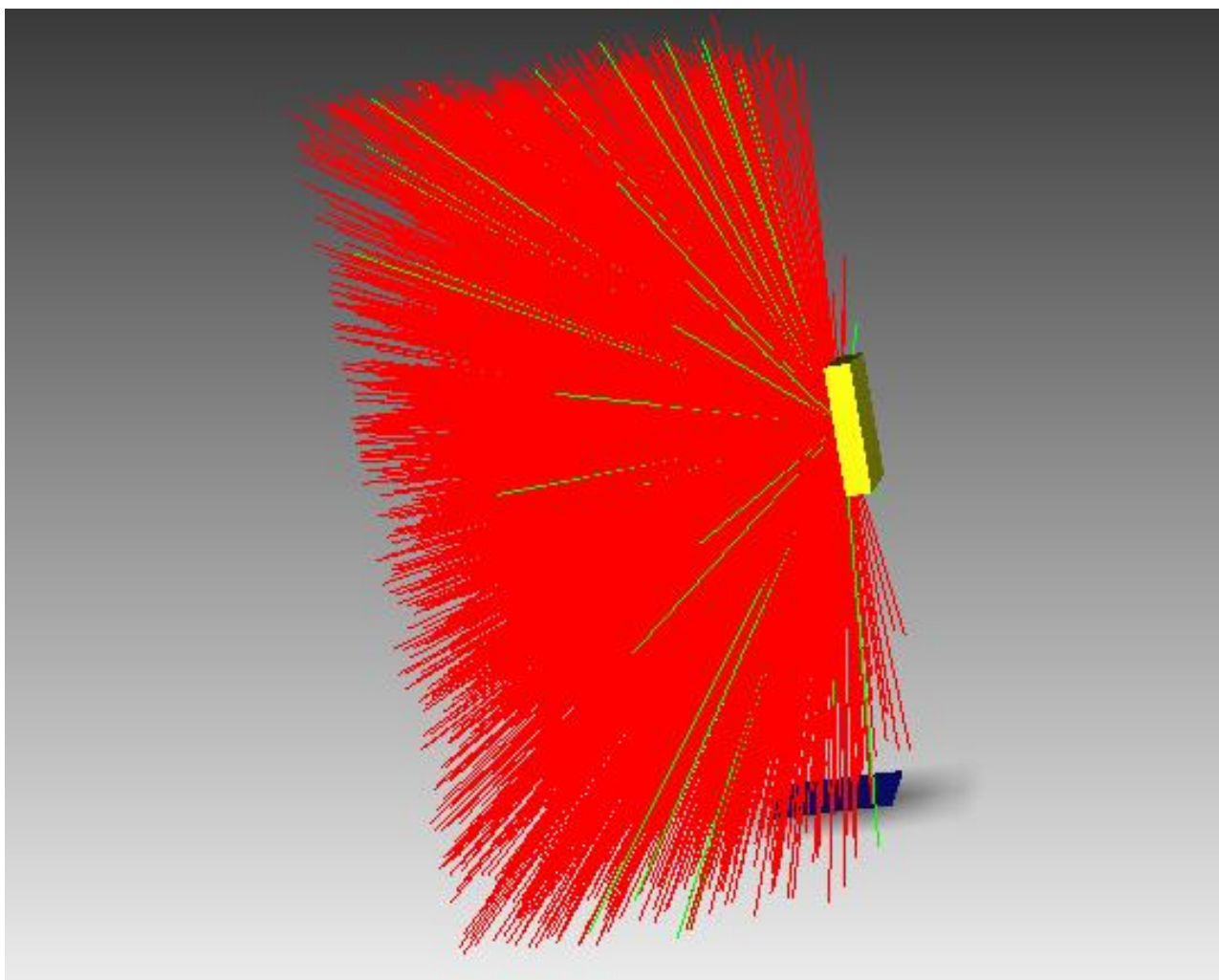


Рисунок 2.1 – Моделирование рентгеновского излучения трубки БСВ-29 с серебряным анодом

Кремниевый детектор с шириной входного окна 1 см (на рисунке 2.1 обозначен синим цветом) расположен на расстоянии 3 см от центра анода (на

рисунке 2.1 обозначен желтым цветом). Количество частиц для моделирования – $2 \cdot 10^7$. Моделирование проводилось в вакууме, чтобы исключить взаимодействие частиц с другими материалами кроме анода и кремния.

Результатом моделирования является график зависимости количества фотонов рентгеновского спектра (N) от энергии (E). По данным графика можно увидеть тормозное излучение трубки и K_{α} -линию ХРИ серебра на энергии 22,1 кэВ.

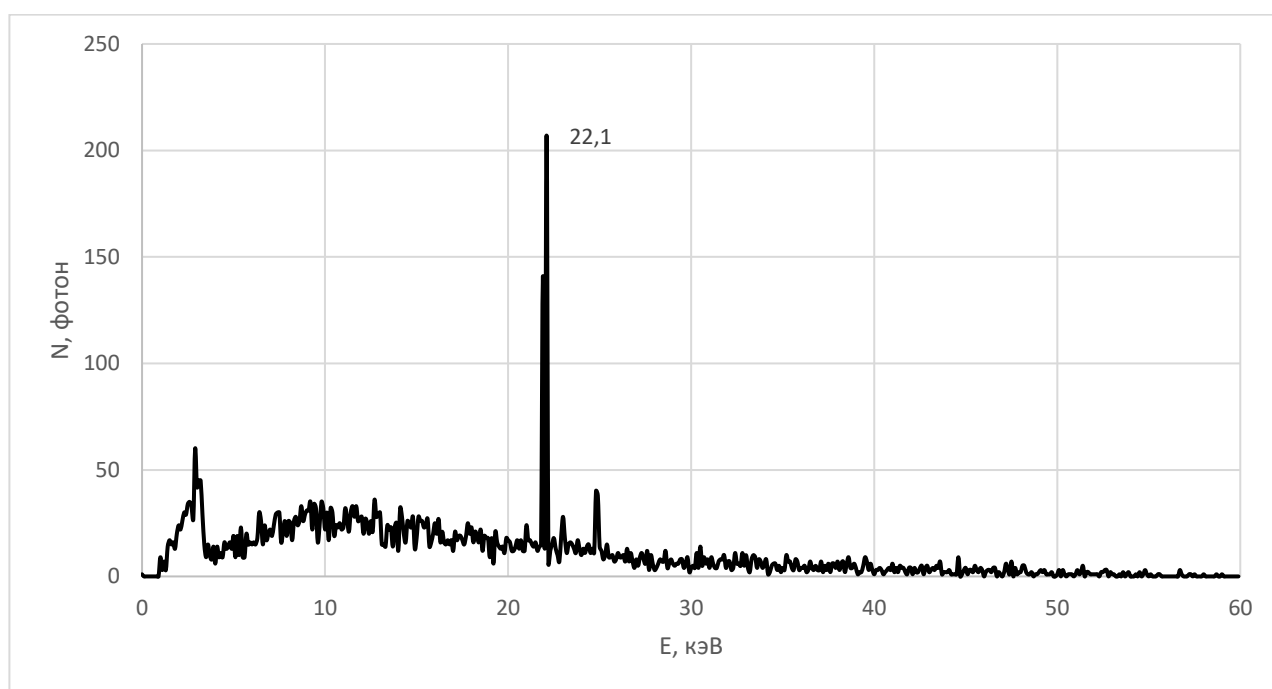


Рисунок 2.2 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с серебряным анодом (Ag)

Для учета ослабления пучка в реальных условиях был произведен пересчет значений с учетом 50 см воздуха и тонкого слоя бериллиевого окна (Be) толщиной 100 мкм. Обработка результатов производилась по формуле [15]

$$N_{air}(E) = N_0(E) \cdot e^{-\Sigma_{air}(E)d_{air}}, \quad (6)$$

$$N_{Be}(E) = N_{air}(E) \cdot e^{-\Sigma_{Be}(E)d_{Be}}, \quad (7)$$

где $N_0(E)$ – количество фотонов до взаимодействия, $N_{air}(E)$ – количество фотонов после прохождения воздуха, $N_{Be}(E)$ – количество фотонов

после прохождения бериллиевого окна, $\Sigma_{\text{air}}(E)$ – линейный коэффициент ослабления фотонов в зависимости от энергии в воздухе, $d_{\text{air}} = 50$ см – толщина слоя воздуха, $\Sigma_{\text{Be}}(E)$ – линейный коэффициент ослабления фотонов в зависимости от энергии в Be, $d_{\text{Be}} = 0,01$ см – толщина слоя Be окна.

Тогда спектр примет вид:

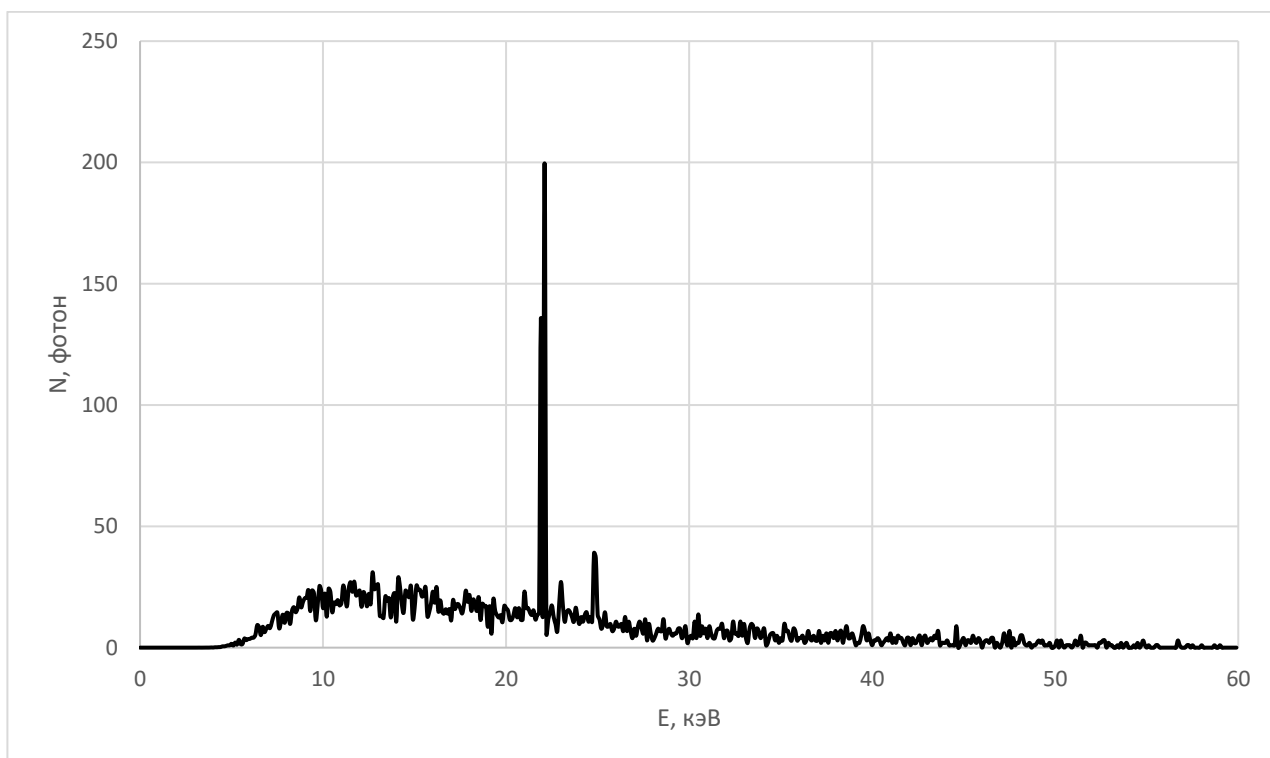


Рисунок 2.3 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с учетом поглощения в воздухе и Be

После прохождения через слой воздуха и бериллиевое окно видно, что тормозное излучение с энергией до 10 кэВ включительно поглощается.

Поскольку излучение распространяется изотропно, то так же нужно учесть распространение частиц в 4π -геометрии. Для этого нужно посчитать телесный угол, под которым излучение падает на плоскость детектора. Величина телесного угла равна $\Omega = 0,109$ стерadian (ср). Соответственно, чтобы учесть все излучение, выходящее из трубки, полученное значение количества частиц из уравнения (7) нужно разделить на величину телесного угла:

$$N_{geom}(E) = \frac{N_{Be}(E)}{\Omega}. \quad (8)$$

Тогда полученный спектр рентгеновского излучения примет вид:

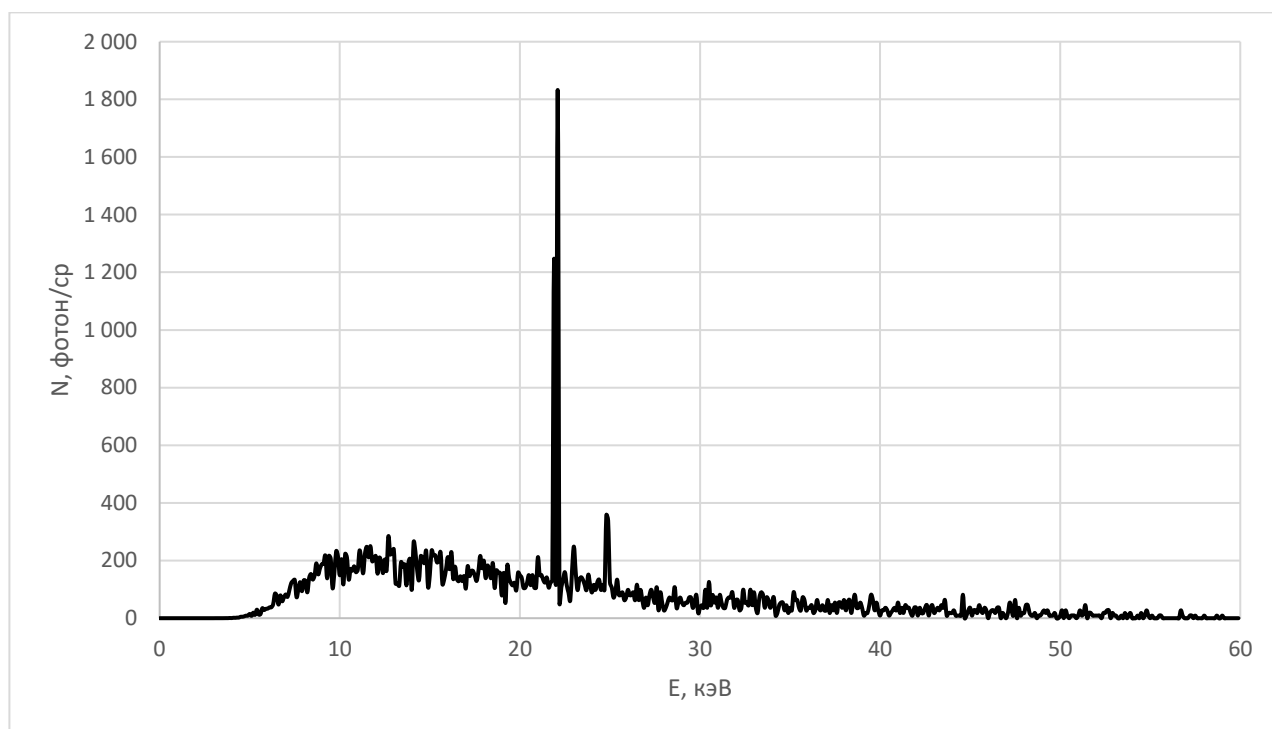


Рисунок 2.4 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с учетом геометрического ослабления

Для того, чтобы минимизировать облучение пациента, перед основным пучком ставится коллиматор с диаметром выходного отверстия равным 1 мм. Соответственно, излучение будет падать лишь на малую часть детектора, и нужно учесть ослабление излучения при прохождении через коллимирующее отверстие. Величина телесного угла будет равна $\Omega_{kol} = 7,85 \cdot 10^{-5}$ ср:

$$N_{kol}(E) = N_{geom}(E) \cdot \Omega_{kol}. \quad (9)$$

И, соответственно, спектр изменится и станет:

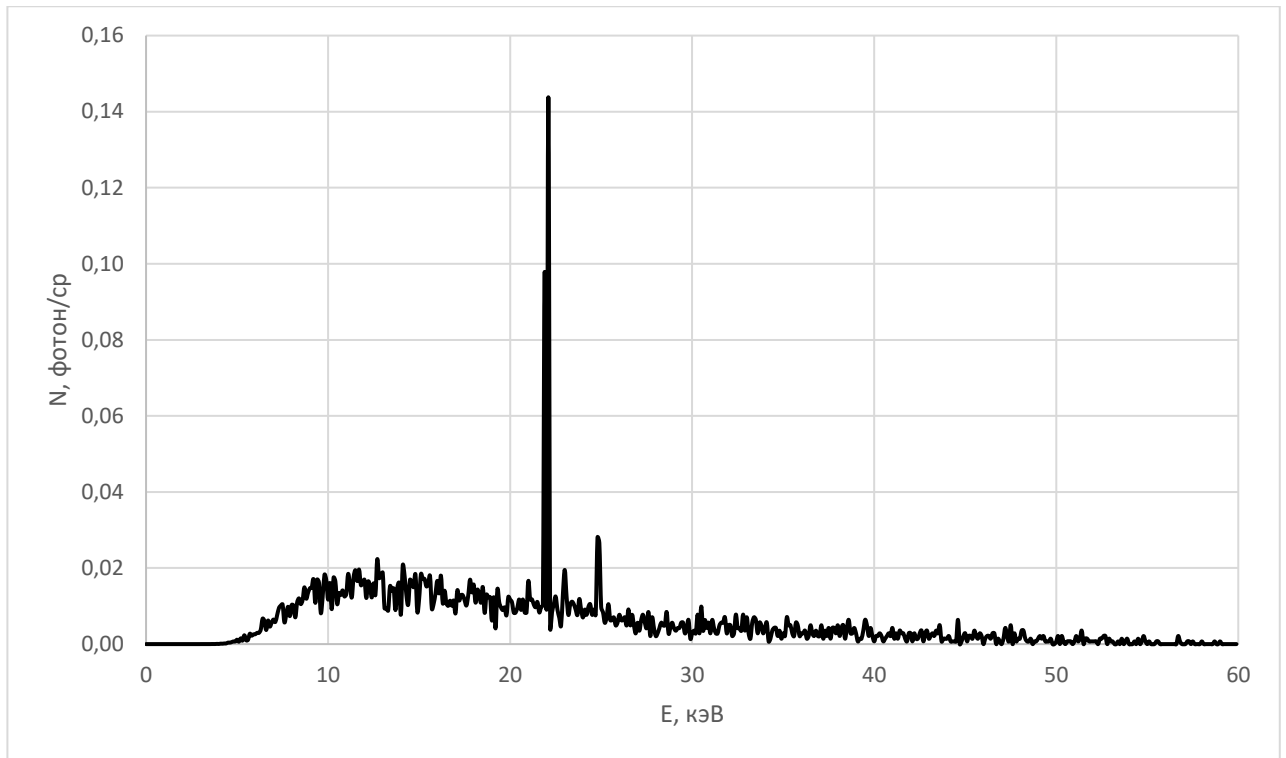


Рисунок 2.5 – Спектр излучения после прохождения коллиматора

Для моделирования, как было сказано выше, использовалось $n = 2 \cdot 10^7$ частиц. Но прекрасно известно, что при токе в 1 мА количество частиц гораздо выше, чем $2 \cdot 10^7$. Поэтому, нужно скомпенсировать количество частиц с учетом, что при токе в $I = 1$ мА за 1 с из трубки вылетает I/q частиц, где q – элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл:

$$N_{total}(E) = \frac{N_{kol}(E) \cdot \left(\frac{I}{q}\right)}{n}. \quad (10)$$

Поэтому, спектр излучения после всех преобразований примет вид:

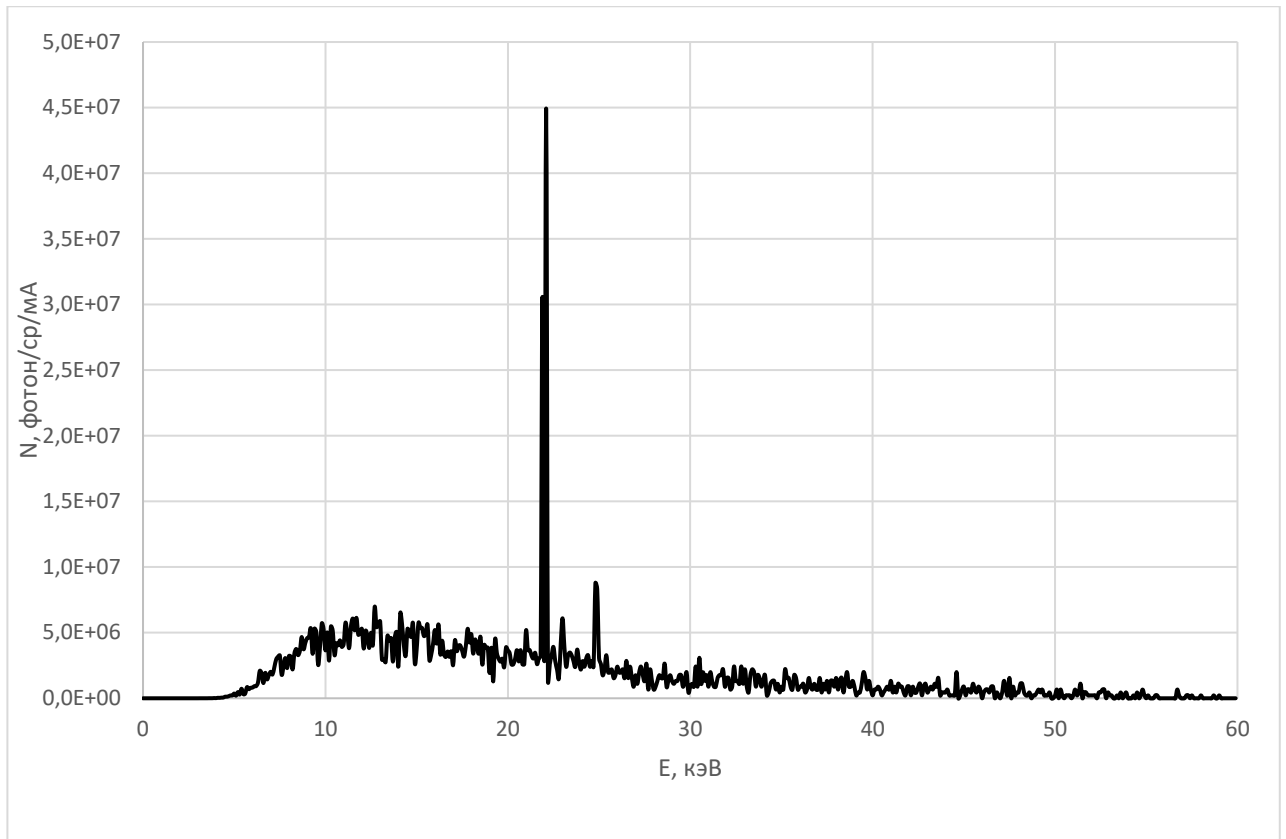


Рисунок 2.6 – Спектр излучения рентгеновской трубки с учетом прохождения через воздух и Ве-стекло, геометрического ослабления и коллиматора, в расчете на силу тока в 1 мА

2.2 Прохождение рентгеновского излучения через кость

Для того, чтобы помочь пациенту с остеопорозом, потери в костной массе не должны превышать 5%. Средняя плотность кости равна $\rho_{bn} = 1,5 \text{ г/см}^3$ [15], соответственно, плотность так называемой «больной» кости принимается за $\rho_{ins} = 1,425 \text{ г/см}^3$. Для того, чтобы учесть прохождение излучения через кость, используем формулу:

$$N_{bn}(E) = N_{total}(E) \cdot e^{-\mu(E)\rho_{bn}d_{bn}}, \quad (11)$$

$$N_{ins}(E) = N_{total}(E) \cdot e^{-\mu(E)\rho_{ins}d_{bn}}, \quad (12)$$

где $N_{total}(E)$ – количество частиц, падающих на кости, $N_{bn}(E)$ – количество частиц, прошедших через здоровую кость, $N_{ins}(E)$ – количество

частиц, прошедших через больную кость, $\mu(E)$ – массовый коэффициент поглощения кости в зависимости от энергии частиц, d_{bn} – толщина кости (для симулирования работы ДЭРД использовалась средняя толщина пяточной кости, равная 4 см). При построении графика прошедшего через кость излучения можно заметить, что частицы с энергией меньше 25 кэВ полностью поглощаются костью, а, так как для обеспечения большей точности измерений и уменьшения поглощенной пациентом дозы используется монохроматизация излучения по 2 пикам, расположенным на 22,1 кэВ и 44,6 кэВ соответственно, можно сделать важный вывод: трубка БСВ-29 с материалом анода – Ag – не подходит для проведения диагностики с помощью двухволновой рентгеновской денситометрии.

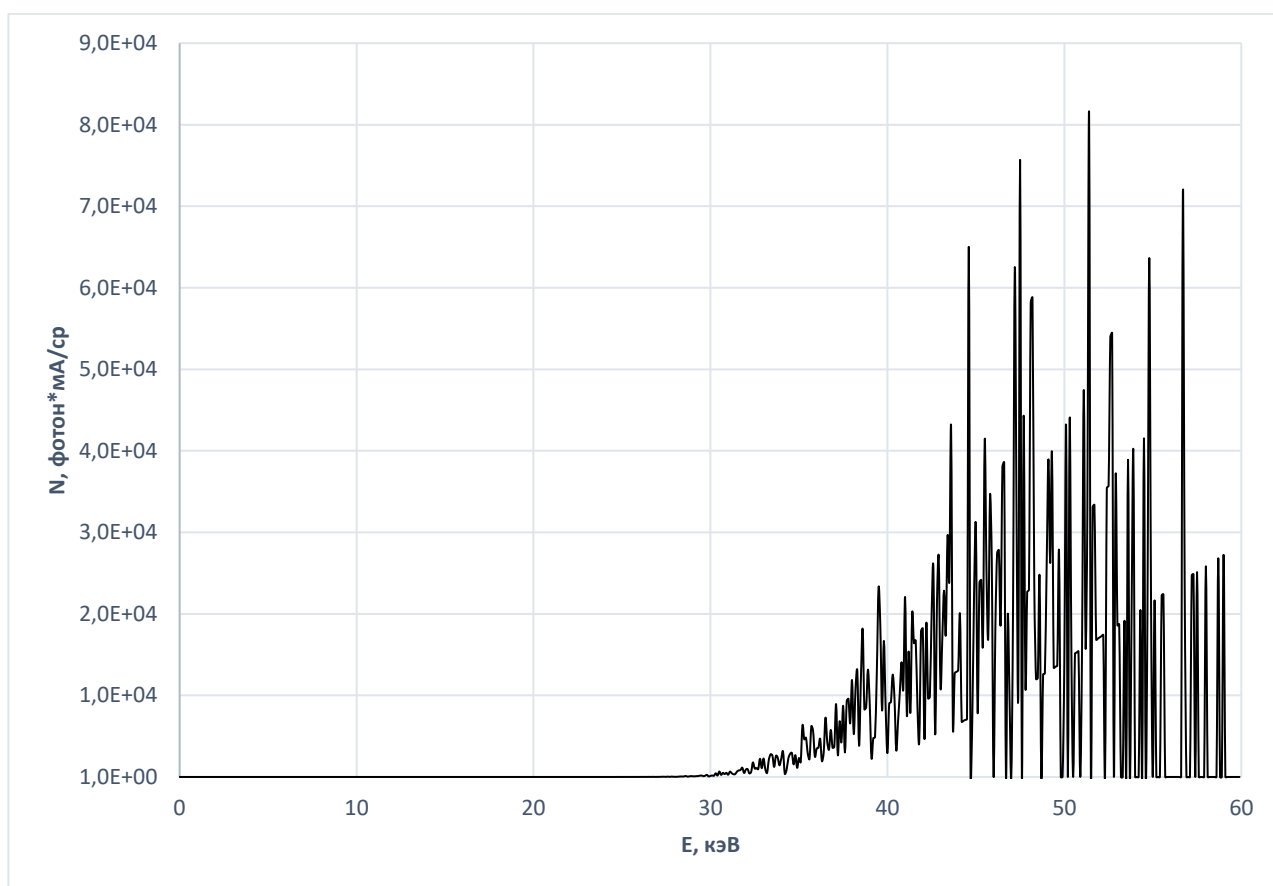


Рисунок 2.7 – Прошедшее через здоровую кость рентгеновское излучение

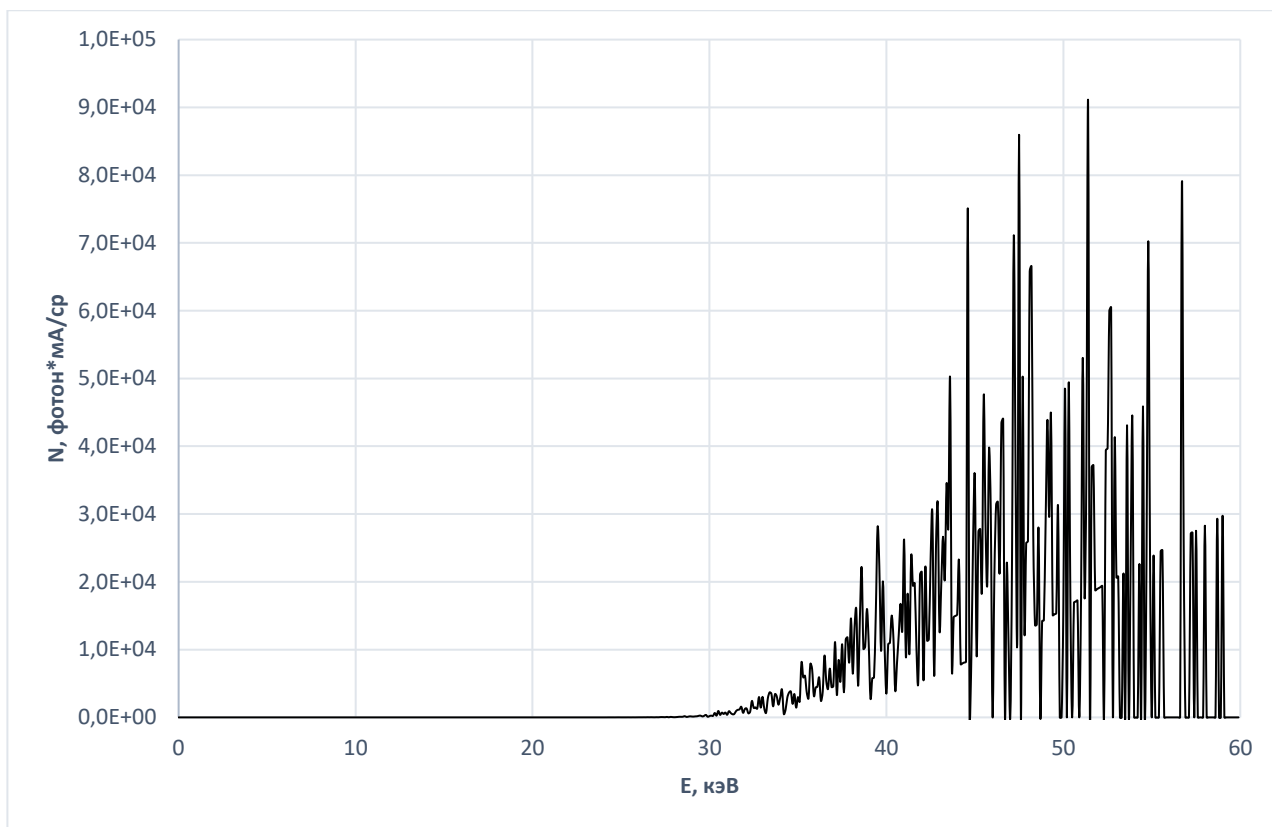


Рисунок 2.8 – Прошедшее через больную кость рентгеновское излучение

2.2 Моделирование спектра рентгеновской трубки с W-анодом

Как было представлено в предыдущем пункте, трубка БСВ-29 с серебряным анодом не соответствует условиям, при которых можно проводить исследования. Поэтому было принято решение об изменении трубки на источник с вольфрамовым анодом, поскольку ХРИ Вольфрама соответствует энергии в 59,4 кэВ. Моделирование проводилось в тех же условиях, что и для серебряного анода, только количество частиц для моделирования было принято равное $n = 2 \cdot 10^8$, а именно: вакуум, детектор с шириной входного окна равной 1 см (синий цвет) расположен на расстоянии 3 см от анода (желтый цвет), величина силы тока $I=1\text{мА}$, анодное напряжение равно $U=100\text{ кВ}$.

Моделирование производилось в пакете GEANT4.

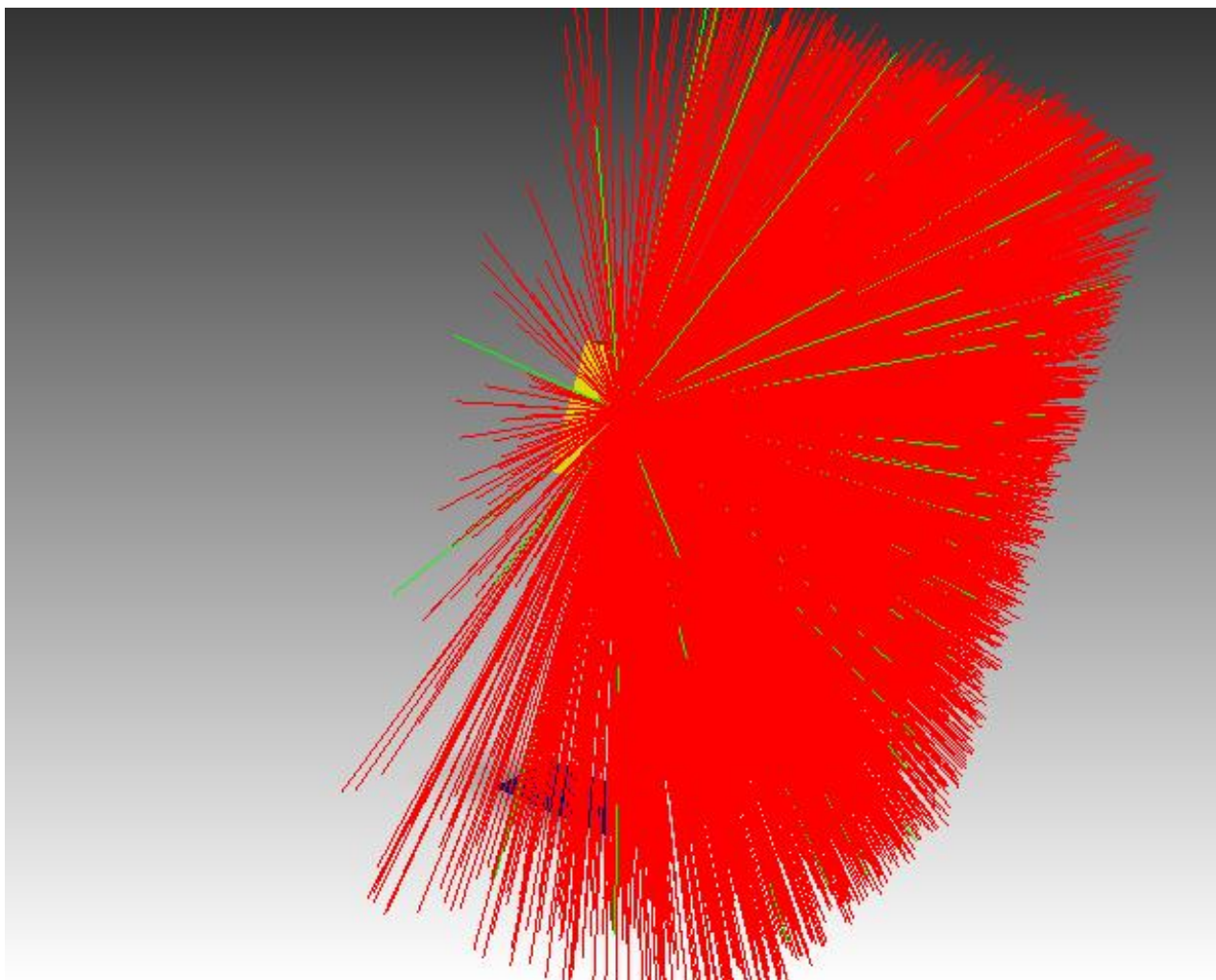


Рисунок 2.9 – Моделирование рентгеновского излучения трубки с W-анодом

Результатом моделирования является график зависимости количества фотонов рентгеновского спектра (N) от энергии (E). По данным графика можно увидеть тормозное излучение трубки и K_{α} -линию ХРИ вольфрама на энергии 59,4 кэВ.

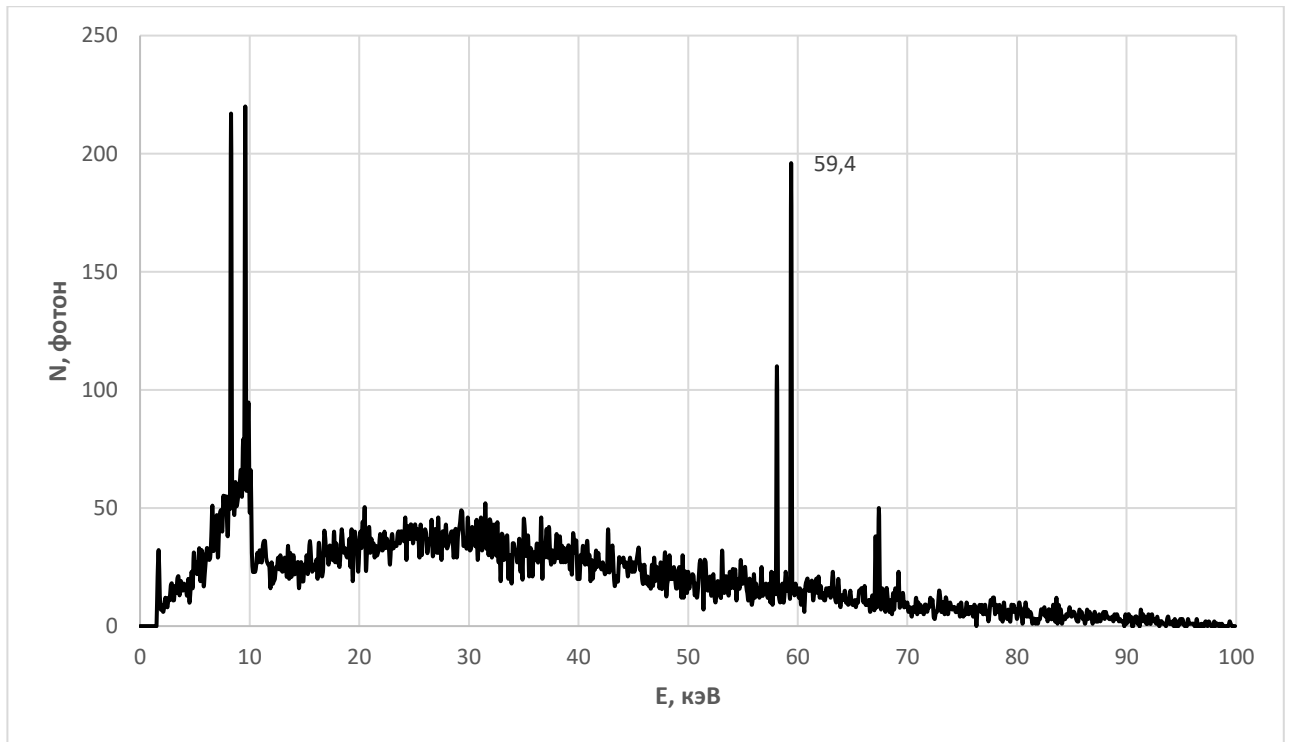


Рисунок 2.10 – Спектр рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом (W)

Для учета ослабления пучка в реальных условиях был произведен пересчет значений с учетом 50 см воздуха и тонкого слоя бериллиевого стекла (Be) толщиной 100 мкм. Обработка результатов производилась по формулам

$$N_{air}(E) = N_0(E) \cdot e^{-\Sigma_{air}(E)d_{air}}, \quad (13)$$

$$N_{Be}(E) = N_{air}(E) \cdot e^{-\Sigma_{Be}(E)d_{Be}}, \quad (14)$$

где $N_0(E)$ – количество фотонов до взаимодействия, $N_{air}(E)$ – количество фотонов после прохождения воздуха, $N_{Be}(E)$ – количество фотонов после прохождения бериллиевого стекла, $\Sigma_{air}(E)$ – линейный коэффициент ослабления фотонов в зависимости от энергии в воздухе, $d_{air} = 50$ см – толщина слоя воздуха, $\Sigma_{Be}(E)$ – линейный коэффициент ослабления фотонов в зависимости от энергии в Be, $d_{Be} = 0,01$ см – толщина слоя Be стекла.

Тогда спектр примет вид:

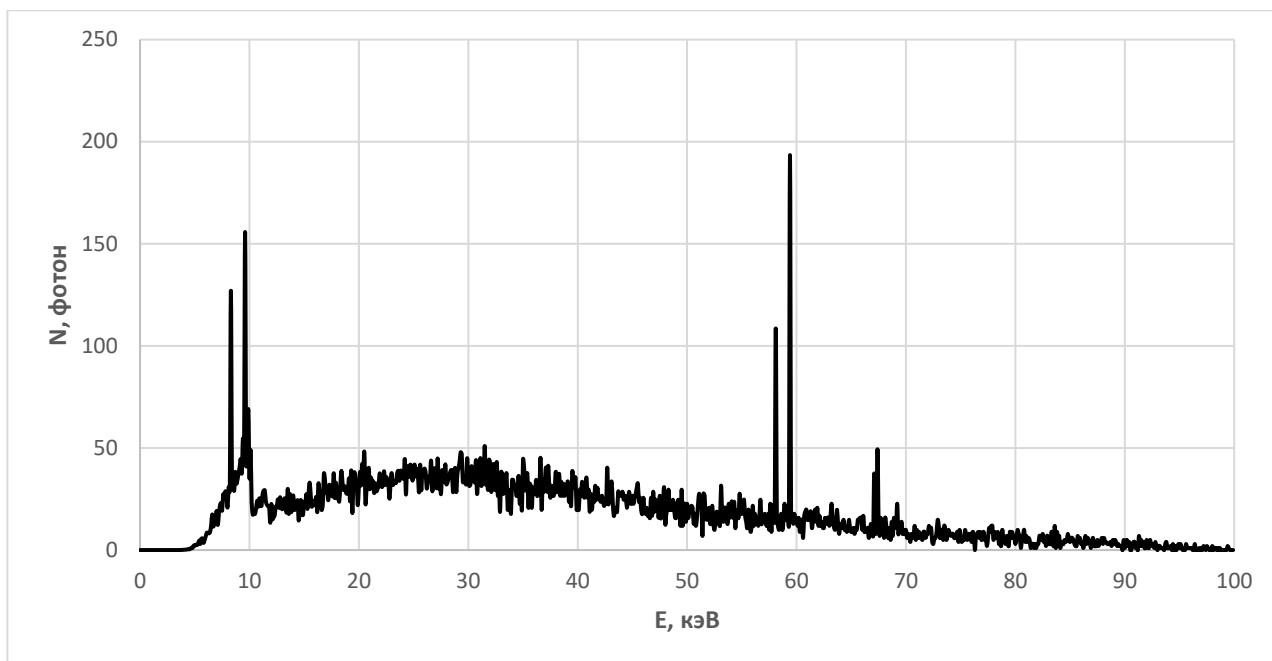


Рисунок 2.11 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с учетом поглощения в воздухе и Be

После прохождения через слой воздуха и бериллиевое стекло видно, что тормозное излучение трубки ослабляется, но незначительно.

Поскольку излучение распространяется изотропно, то так же нужно учесть распространение частиц в 4π -геометрии. Для этого нужно посчитать телесный угол, под которым излучение падает на плоскость детектора. Величина телесного угла равна $\Omega = 0,109$ стерadian (ср). Соответственно, чтобы учесть все излучение, выходящее из трубки, полученное значение количества частиц из уравнения (2) нужно разделить на величину телесного угла:

$$N_{geom}(E) = \frac{N_{Be}(E)}{\Omega}. \quad (15)$$

Тогда полученный спектр рентгеновского излучения примет вид:

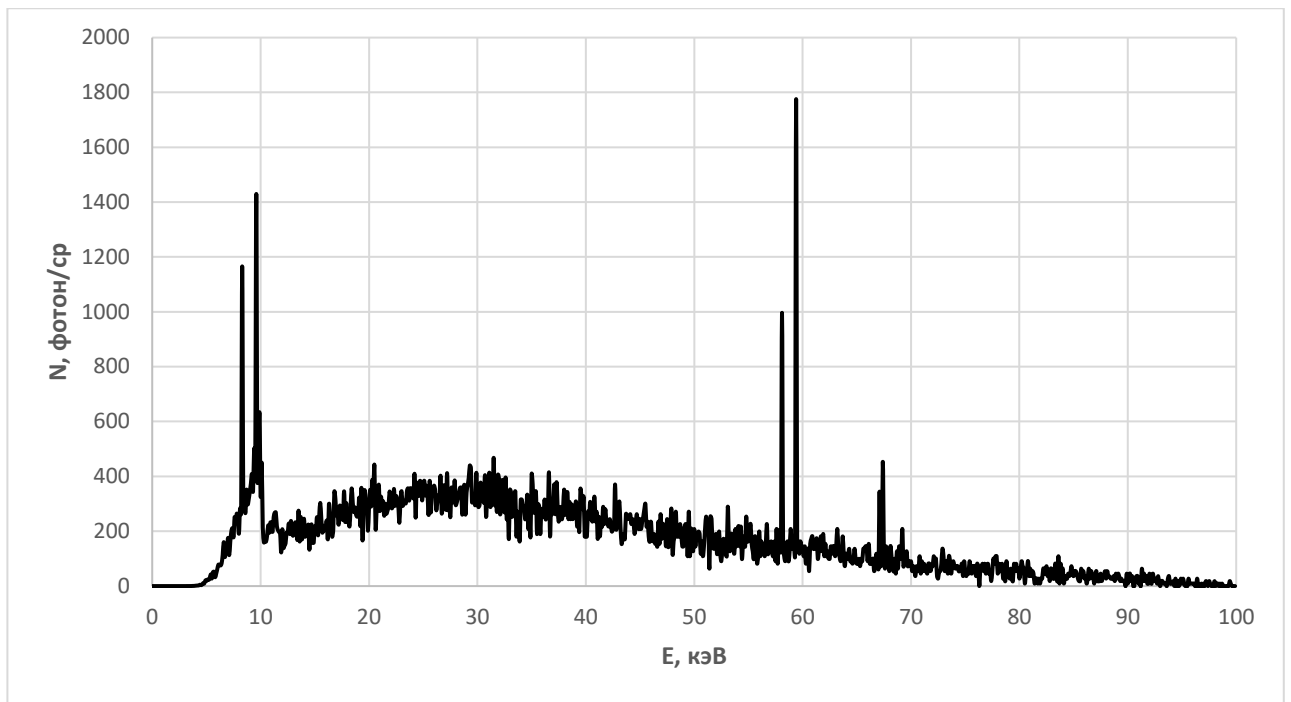


Рисунок 2.12 – Спектр рентгеновской трубки с учетом геометрического ослабления

Для того, чтобы минимизировать выходное излучение, перед основным пучком ставится коллиматор с диаметром выходного отверстия равным 1 мм. Соответственно, излучение будет падать лишь на малую часть детектора, и нужно учесть ослабление излучения при прохождении через коллимирующее отверстие. Величина телесного угла будет равна $\Omega_{kol} = 7,85 \cdot 10^{-5}$ ср:

$$N_{kol}(E) = N_{geom}(E) \cdot \Omega_{kol}. \quad (16)$$

И, соответственно, спектр изменится и станет:

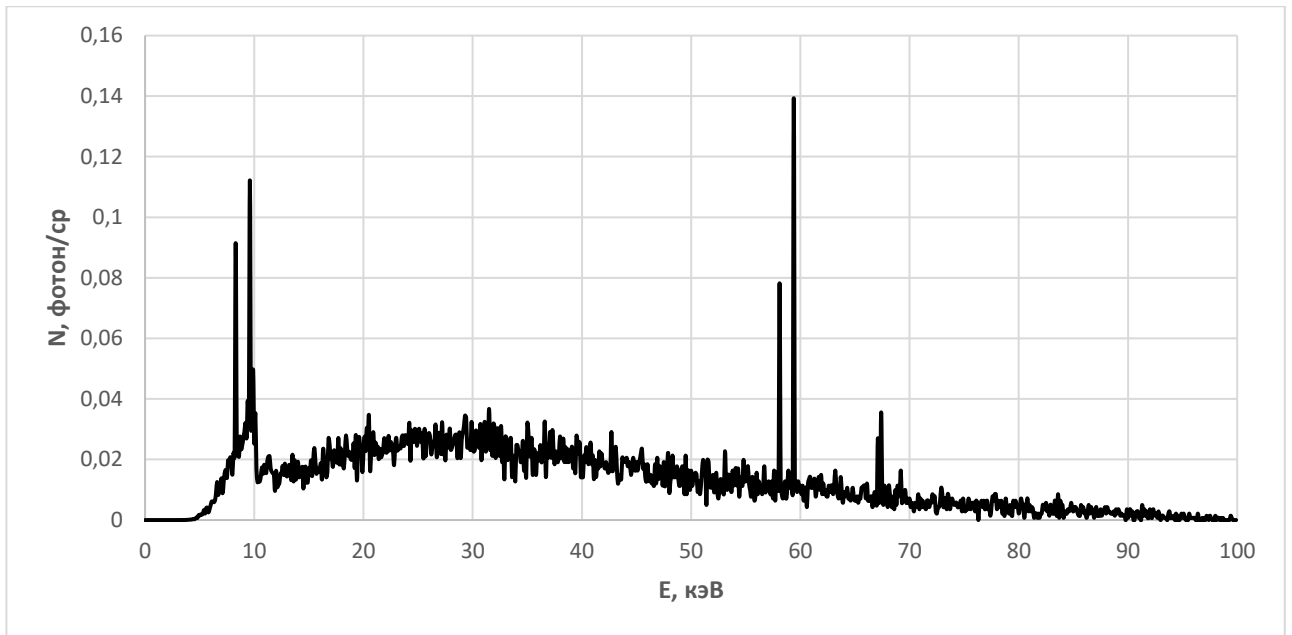


Рисунок 2.13 – Спектр излучения после прохождения коллиматора

Для моделирования, как было сказано выше, использовалось $n = 2 \cdot 10^8$ частиц. Но прекрасно известно, что при токе в 1 мА количество частиц гораздо выше, чем $2 \cdot 10^8$. Поэтому, нужно скомпенсировать количество частиц с учетом, что при токе в $I = 1$ мА за 1 с из трубки вылетает I/q частиц, где q – элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл:

$$N_{total}(E) = \frac{N_{kol}(E) \cdot \left(\frac{I}{q}\right)}{n}. \quad (17)$$

Поэтому, спектр излучения после всех преобразований примет вид:

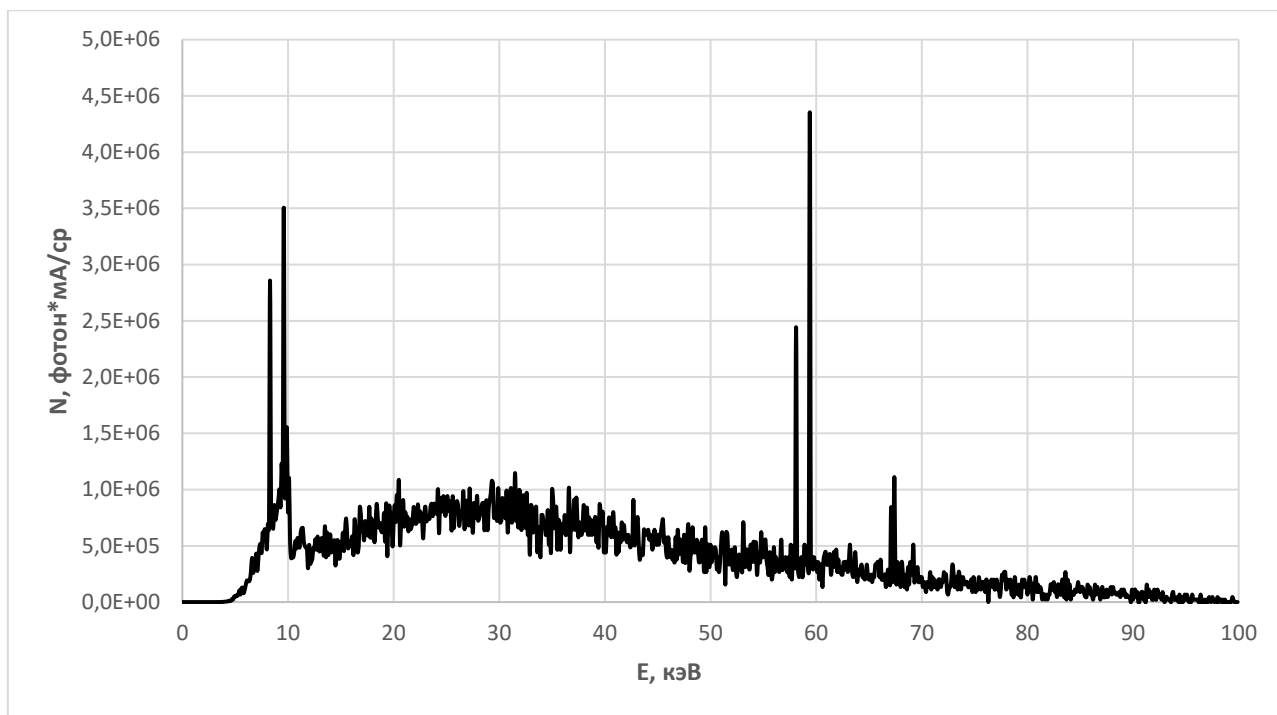


Рисунок 2.14 – Спектр излучения рентгеновской трубки с учетом прохождения через воздух и Ве-стекло, геометрического ослабления и коллиматора, в расчете на силу тока в 1 мА

В двухэнергетической схеме исследований для того, чтобы уменьшить поглощенную дозу используют алюминиевый фильтр, которым поглощается мягкая часть спектра излучения. В моделировании использовался алюминиевый фильтр толщиной $d_{fil} = 0,5$ см. Обработка спектра проводилась по формуле:

$$N_{fil}(E) = N_{total}(E) \cdot e^{-\Sigma_{fil}(E)d_{fil}}, \quad (18)$$

где $N_{fil}(E)$ – количество фотонов, прошедших через алюминиевый фильтр, $\Sigma_{fil}(E)$ – линейный коэффициент ослабления алюминия для диапазона энергий от 0,1 до 100 кэВ. И тогда, при прохождении через фильтр, спектр излучения примет вид:

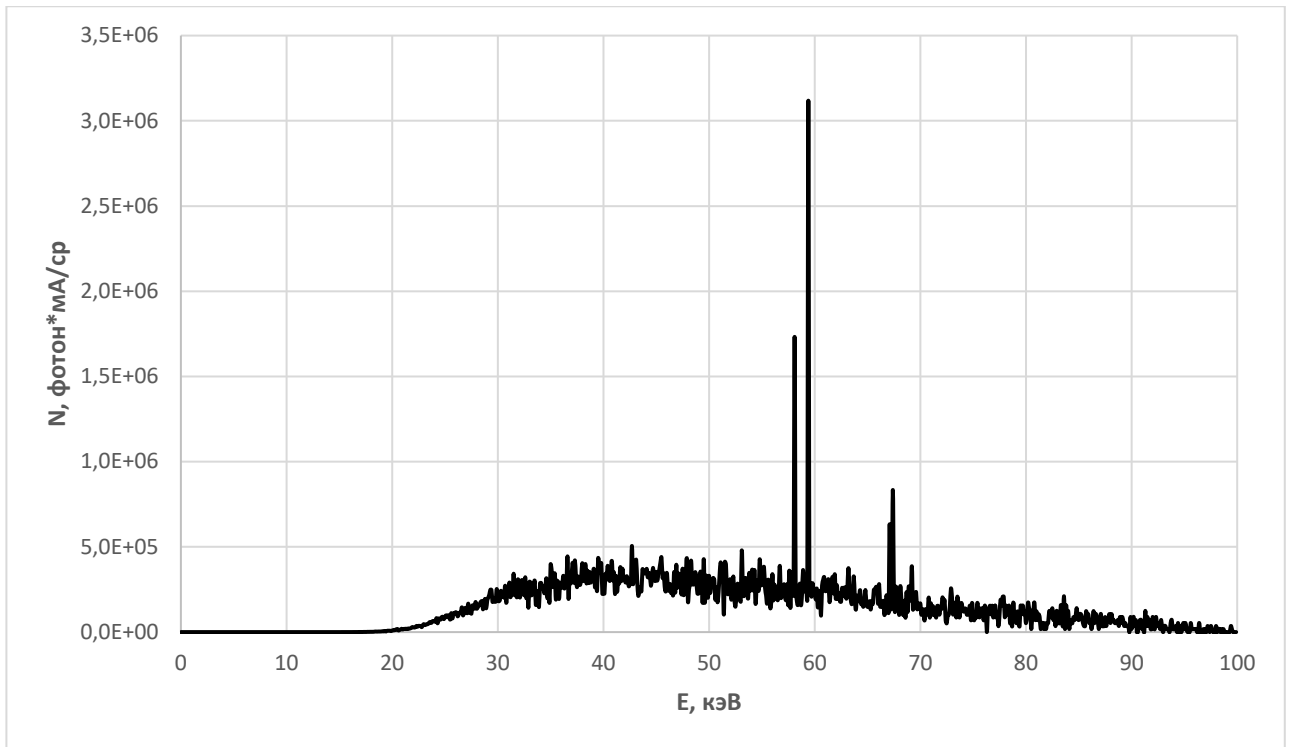


Рисунок 2.15 – Спектр рентгеновской трубки с W-анодом после прохождения через алюминиевый фильтр

2.3 Прохождение рентгеновского излучения W-трубки через кость

Как уже было сказано раньше, помочь пациенту с остеопорозом можно при условии потерь в плотности кости не более 5%, поэтому, если плотность здоровой кости равна $\rho_{bn} = 1,5 \text{ г/см}^3$, тогда плотность «больной» кости равна $\rho_{ins} = 1,425 \text{ г/см}^3$. Для того, чтобы учесть прохождение излучения через кость, используем формулу:

$$N_{bn}(E) = N_{fil}(E) \cdot e^{-\mu(E)\rho_{bn}d_{bn}}, \quad (19)$$

$$N_{ins}(E) = N_{fil}(E) \cdot e^{-\mu(E)\rho_{ins}d_{bn}}, \quad (20)$$

где $N_{fil}(E)$ – количество частиц, падающих на кость, $N_{bn}(E)$ – количество частиц, прошедших через здоровую кость, $N_{ins}(E)$ – количество частиц, прошедших через больную кость, $\mu(E)$ – массовый коэффициент поглощения

кости в зависимости от энергии частиц, d_{bn} – толщина кости (для симулирования работы ДЭРД использовалась средняя толщина пяточной кости, равная 4 см).

Тогда график зависимости количества частиц, прошедших через здоровую и больную кость от их энергии, примет вид:

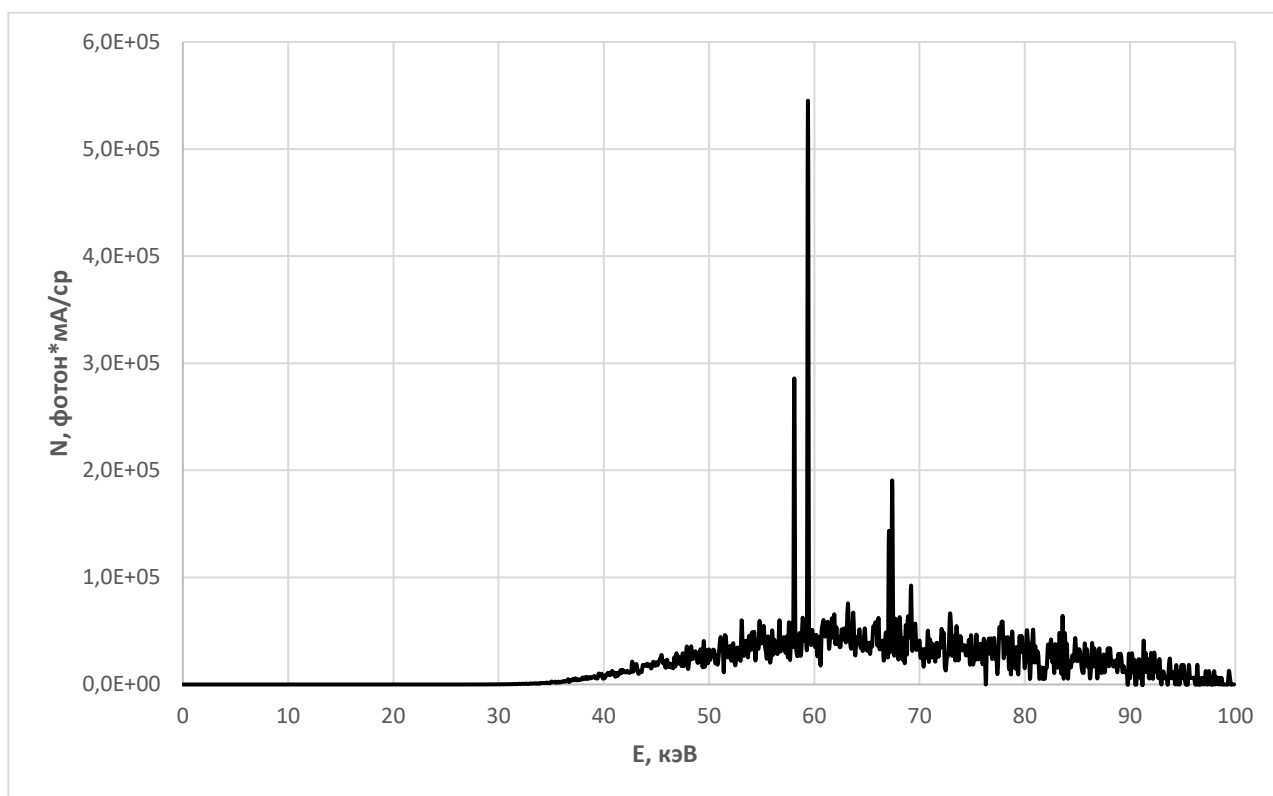


Рисунок 2.16 – Спектр излучения, прошедшего через здоровую кость

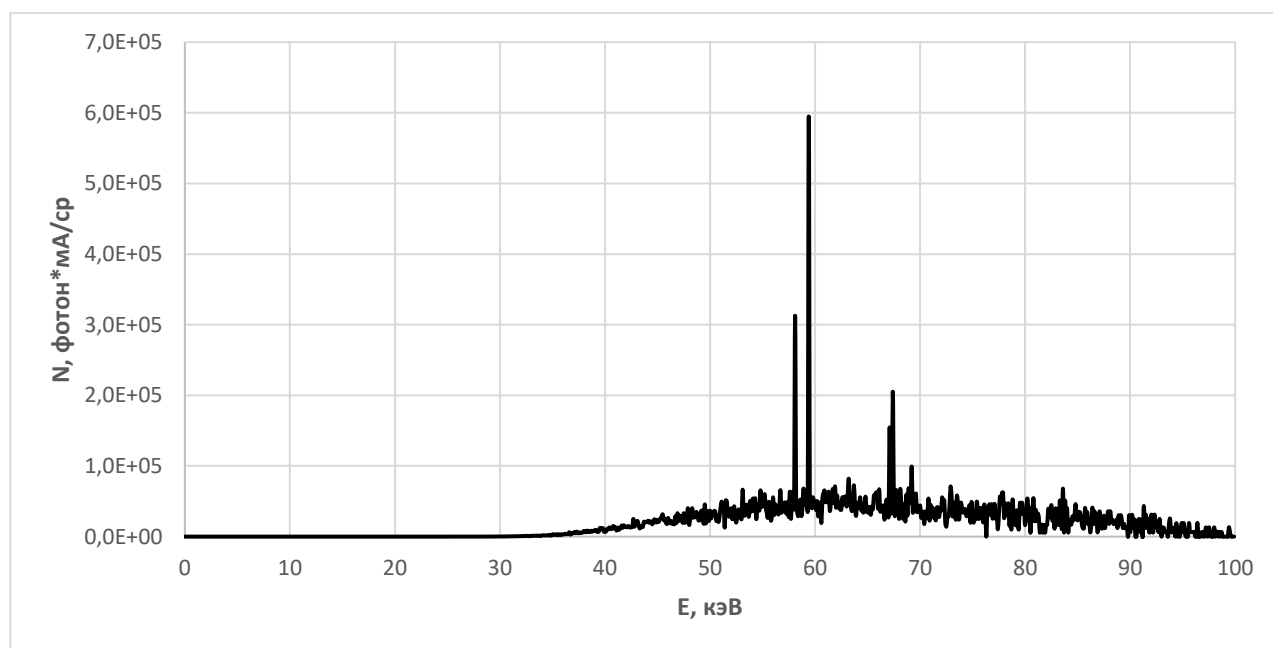


Рисунок 2.17 – Спектр излучения, прошедшего через больную кость

При обследовании с помощью двухэнергетической схемы исследований используется весь спектр излучения, причем облучение пациента происходит дважды – чтобы пронаблюдать изменение в плотности с течением времени. Полезный сигнал позволяет определить какова чувствительность ДЭРД, и она равна:

$$R(E) = \text{Полезный сигнал} = N_{ins}(E) - N_{bn}(E) \quad (21)$$

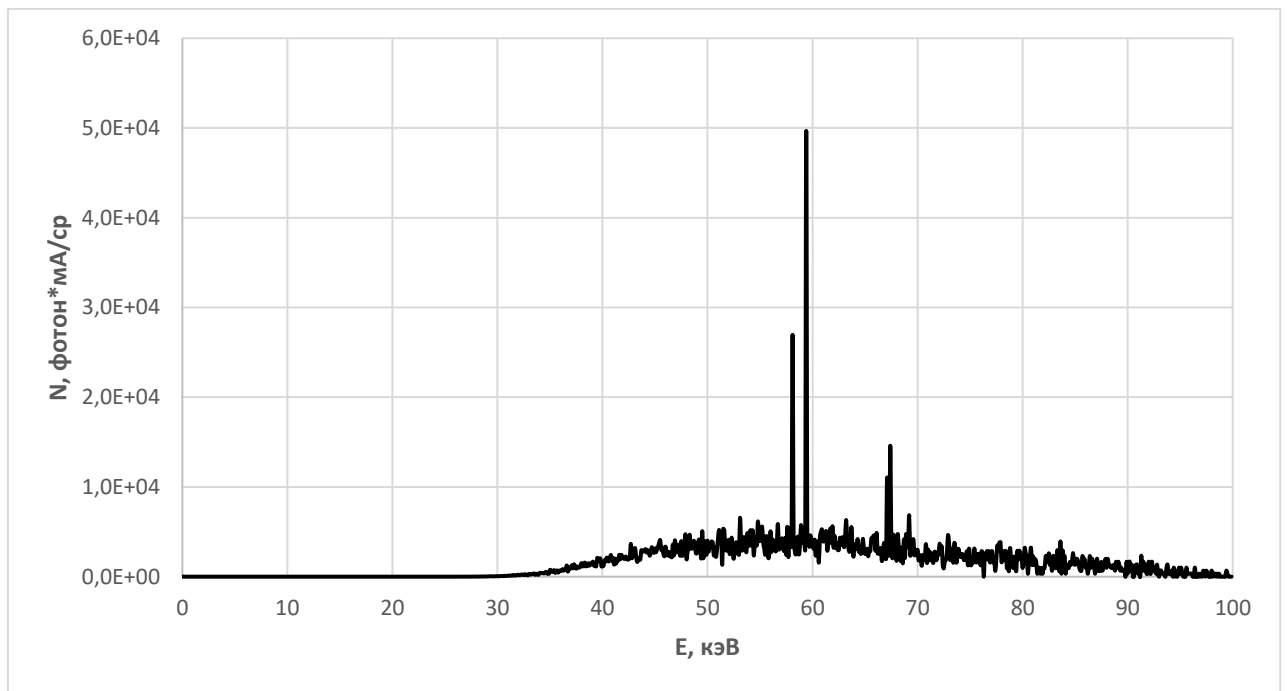


Рисунок 2.18 – Полезный сигнал для двухэнергетической схемы

Статистическая погрешность ДЭРД вычисляется по формуле, согласно [16]:

$$\sigma = \frac{\sum \sqrt{R_i(E)}}{\sum R_i(E)} \cdot 100\% = 0,6\%, \quad (22)$$

где σ – статистическая погрешность, равная 0,6%; R_i – полезный сигнал для определенной энергии частиц. На следующем графике можно увидеть, какое количество частиц поглощается, проходя через здоровую кость:

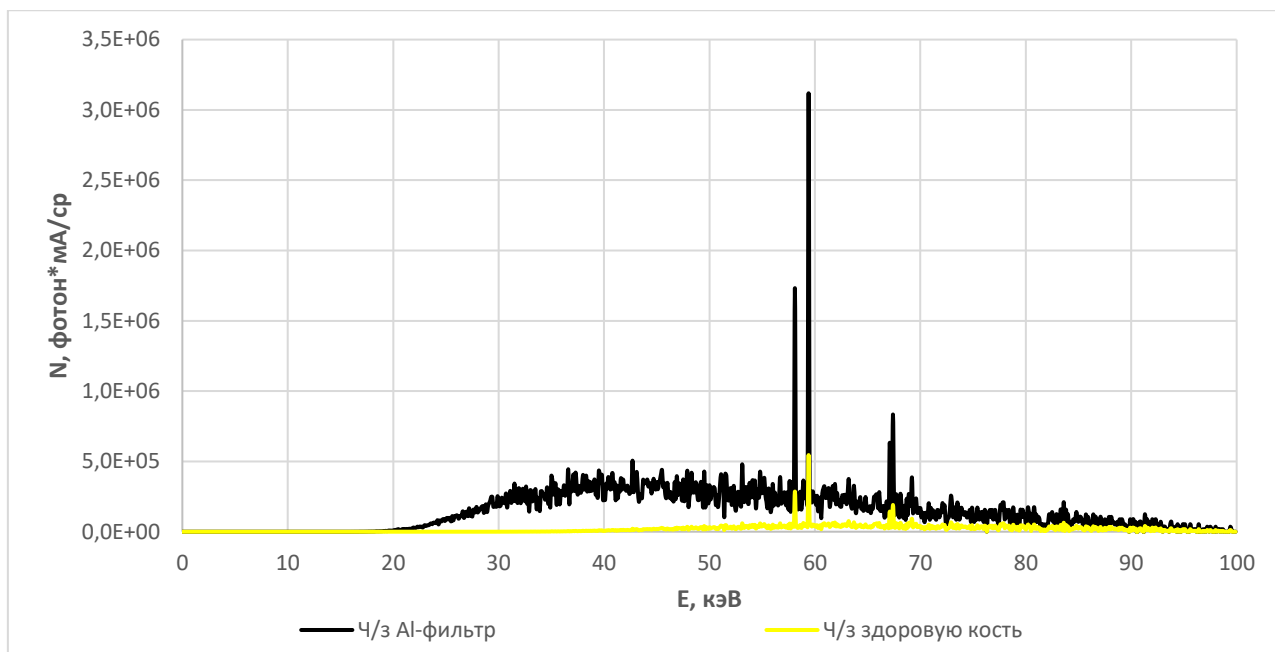


Рисунок 2.19 – Спектр излучения, прошедшего через Al-фильтр (черный) и через кость (желтый)

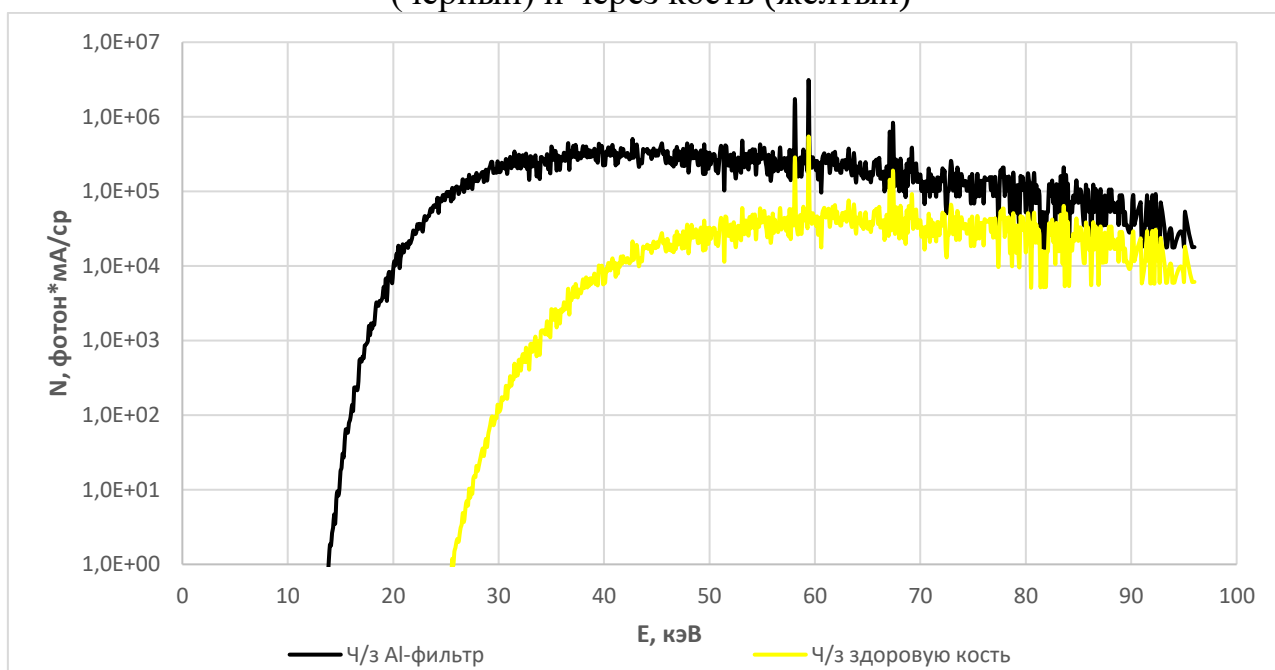


Рисунок 2.20 – Спектр излучения, прошедшего через Al-фильтр (черный) и через кость (желтый) (логарифмическая шкала)

В двухволновой схеме в качестве излучения используется монохроматизированное излучение того же спектра, который используется в двухэнергетической схеме исследования, поэтому для оценки статистической погрешности достаточно использовать 2 значения интенсивности, соответствующее 42,7 кэВ и 59,4 кэВ. Для оценки этой статистической

погрешности преобразуем формулу (22), пренебрегая т.н. фоновым излучением, поскольку благодаря использованию Al-фильтра и коллиматора это излучение сравнительно мало, и используя полезный сигнал $R(42,7)$ и $R(59,4)$, то есть:

$$\begin{aligned} R(42,7) &= N_{ins}(42,7) - N_{bn}(42,7) = \\ &= 250384 - 213754 = 36630, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} R(59,4) &= N_{ins}(59,4) - N_{bn}(59,4) = \\ &= 5948296 - 5451697 = 496599, \end{aligned} \quad (24)$$

$$\sigma(42,7) = \frac{1}{\sqrt{R(42,7)}} \cdot 100\% = 0,5\% \quad (25)$$

$$\sigma(59,4) = \frac{1}{\sqrt{R(59,4)}} \cdot 100\% = 0,14\%, \quad (26)$$

Как можно видеть из полученных значений статистической погрешности для ДВРД, погрешность меньше 1%, для исследования же заявленная погрешность составляет не больше 5%, а значит, что для получения удовлетворительной точности измерений возможно уменьшить силу тока трубки с 1 мА до 250 мкА, что значительно удешевит производство и уменьшит дозу облучения, получаемую пациентом.

Проведем обработку спектра излучения с учетом, что ток трубки уменьшился в 4 раза, а значит, и интенсивность излучения так же уменьшилась. И, при прохождении через кость, спектр рентгеновской трубки будет иметь вид:

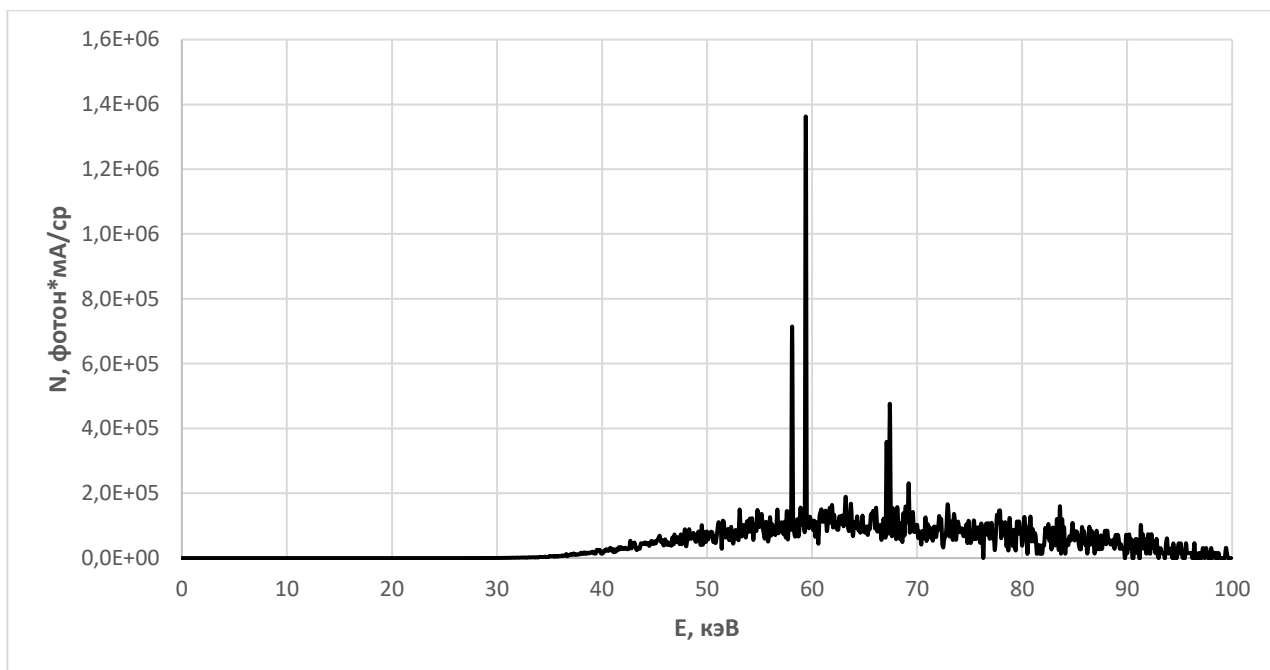


Рисунок 2.21. Спектр излучения, прошедший через здоровую кость при условии уменьшения силы тока в 4 раза

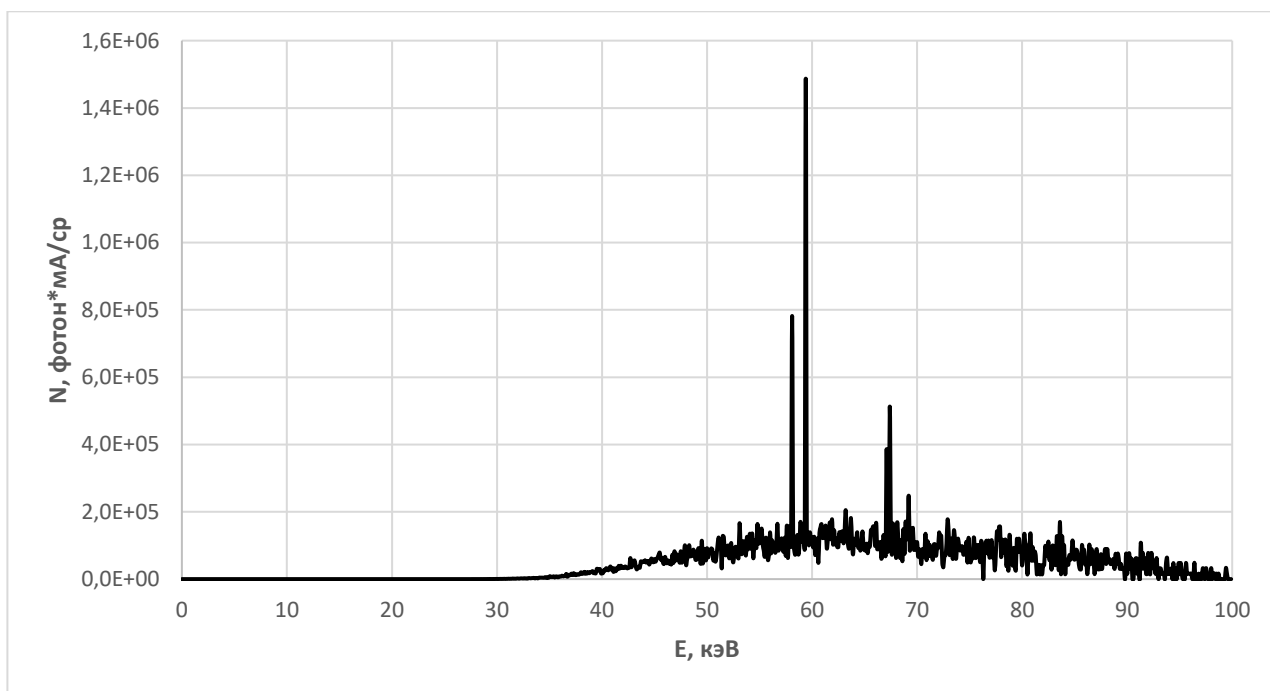


Рисунок 2.22 - Спектр излучения, прошедший через больную кость при условии уменьшения силы тока в 4 раза

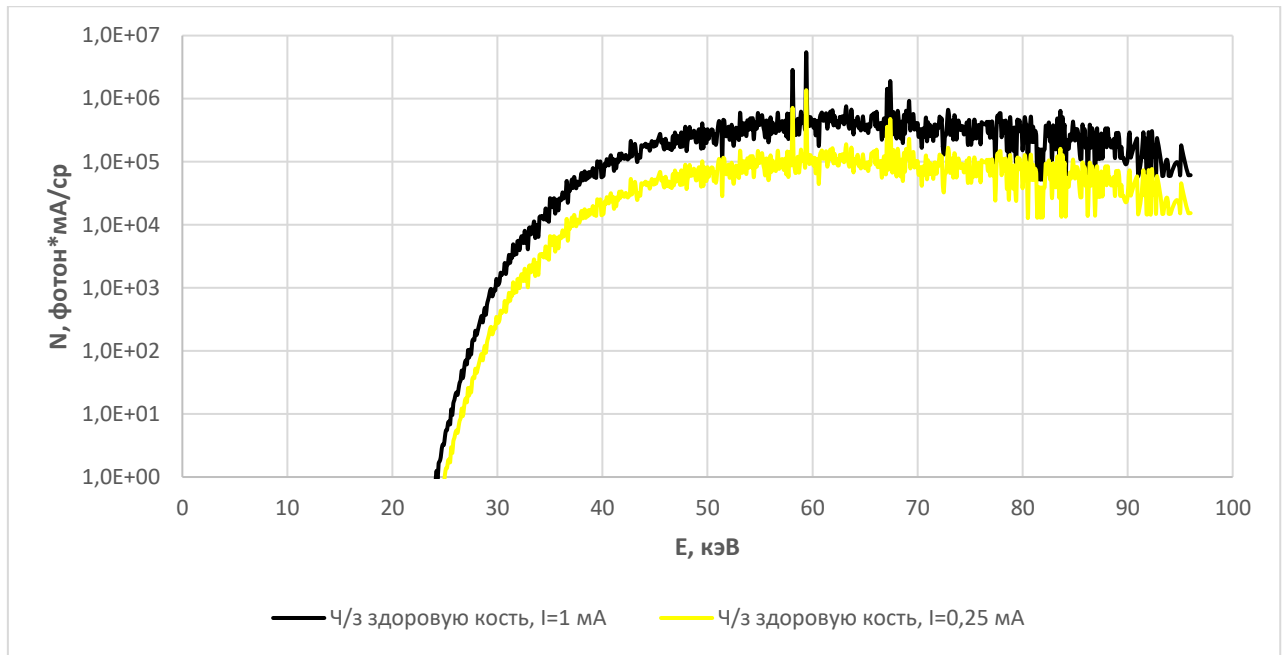


Рисунок 2.23 - Уменьшение интенсивности прошедшего через здоровую кость излучения при уменьшении силы тока в 4 раза (логарифмическая шкала)

Статистическая погрешность ДЭРД вычисляется по формуле:

$$\sigma_{<4} = \frac{\sum \sqrt{R_i(E)}}{\sum R_i(E)} \cdot 100\% = 1,2\%, \quad (27)$$

где $\sigma_{<4}$ – статистическая погрешность при уменьшении силы тока в 4 раза, равная 1,2%; R_i – полезный сигнал для определенной энергии частиц.

Для оценки полезного сигнала и статистической погрешности ДВРД воспользуемся формулами (23)-(26).

$$\begin{aligned} R_{<4}(42,7) &= N_{ins}(42,7) - N_{bn}(42,7) = \\ &= 62596 - 53439 = 9158, \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} R_{<4}(59,4) &= N_{ins}(59,4) - N_{bn}(59,4) = \\ &= 1487074 - 1362899 = 124175, \end{aligned} \quad (29)$$

$$\sigma_{<4}(42,7) = \frac{1}{\sqrt{R(42,7)}} = 1\% \quad (30)$$

$$\sigma_{<4}(59,4) = \frac{1}{\sqrt{R(59,4)}} = 0,28\%, \quad (31)$$

Статистическая погрешность приборов при уменьшении силы тока в 4 раза так же уменьшилась, но при этом по-прежнему удовлетворяет условиям проведения исследований.

2.4 Расчет поглощенной дозы

Следующим этапом исследования является оценка поглощенной костью дозы. Для двухэнергетической схемы поглощенная доза учитывается от всего спектра излучения, а для двухволновой схемы основной вклад в дозу будут вносить частицы с энергией 42,7 и 54,9 кэВ. Для расчета поглощенной дозы нужно сначала рассчитать, сколько частиц поглотилось костью. Для ДЭРД рассчитать количество поглощенных частиц в здоровой кости следует по формуле:

$$N_{pog}(E) = N_{fil}(E) \cdot (1 - e^{-\mu(E)\rho_{bn}d_{bn}}) \quad (32)$$

И, соответственно, поглощенная доза будет равна

$$D_{pog} = \sum N_{pogi} \cdot E_i \quad (33)$$

где $N_{pog}(E)$ – количество поглощенных частиц, $N_{fil}(E)$ – количество частиц, прошедших через алюминиевый фильтр, $\mu(E)$ – массовый коэффициент поглощения кости для каждой энергии, ρ_{bn} – плотность кости, равная 1,5 г/см³, d_{bn} – толщина кости, равная 4 см.

В итоге, доза излучения, поглощенная здоровой костью при использовании двухэнергетической схемы исследований будет равна $D_{pog} = 6,35 \cdot 10^{10}$ [фотон · кэВ]. Для удобства дальнейшего использования и обработки результатов дозу необходимо преобразовать из [фотон · кэВ] в

$\frac{Дж}{кг}$ – Гр (Грей). Масса кости шириной 4 см и плотностью 1,5 г/см³ равна 0,096 кг, время облучения – 1 с.

Таким образом, поглощенная доза при облучении пациента с использованием двухэнергетической схемы равна:

$$D_{ДЭРД} = \frac{D_{\text{пог}}[\text{фотон} \cdot \text{кэВ}] \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кэВ}} \right]}{0,096[\text{кг}]} =$$

$$= \frac{6,35 \cdot 10^{10} \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \cdot 10^6}{0,096} = 105,8 [\text{мкГр}] \quad (34)$$

При исследовании изменения плотности костей с помощью ДЭРД, в отличие от исследования с помощью ДВРД, необходимо облучить пациента дважды на разных анодных напряжениях трубки, чтобы определить изменение плотности костей. Соответственно, поглощенная доза увеличится в 2 раза, и будет равна:

$$D_{ДЭРД_{\text{total}}} = 2 \cdot D_{ДЭРД} = 211,6 [\text{мкГр}] \quad (35)$$

При уменьшении силы тока в 4 раза поглощенная доза для двухэнергетической схемы исследований будет равна $D_{\text{пог}1} = 1,59 \cdot 10^{10} [\text{фотон} \cdot \text{МэВ}] = 26,45 [\text{мкГр}]$. Соответственно, для двойного облучения поглощенная доза будет равна:

$$D_{ДЭРД_{\text{total}1}} = 2 \cdot D_{ДЭРД} = 52,9 [\text{мкГр}] \quad (36)$$

Как было сказано выше, для двухволновой схемы основной вклад в дозу будут вносить частицы с энергией 42,7 и 54,9 кэВ. Для расчета поглощенной дозы нужно сначала рассчитать, сколько частиц поглотилось костью. Для ДВРД количество поглощенных частиц будет рассчитываться по формуле (23), но лишь для 2-х энергий (42,7 и 59,4 кэВ):

$$N_{\text{пог}}(42,7) = N_{\text{фил}}(42,7) \cdot (1 - e^{-\mu(42,7)\rho_{\text{bn}}d_{\text{bn}}}) = 4841917 \quad (36)$$

$$N_{\text{пог}}(59,4) = N_{\text{фил}}(59,4) \cdot (1 - e^{-\mu(59,4)\rho_{\text{bn}}d_{\text{bn}}}) = 25730139 \quad (37)$$

И поглощенная доза будет равна:

$$D_{\text{ДВРД}} = (N_{\text{пог}}(42,7) \cdot 42,7) + (N_{\text{пог}}(59,4) \cdot 59,4) = 1,74 \cdot 10^9 \quad (38)$$

То есть, поглощенная доза равна $1,74 \cdot 10^9$ [фотон · кэВ]. Для удобства дальнейшего использования и обработки результатов дозу необходимо преобразовать из [фотон · кэВ] в $\frac{Дж}{кг}$ – Гр (Грей). Масса кости шириной 4 см и плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$ равна $0,096 \text{ кг}$, время облучения – 1 с.

Таким образом, поглощенная доза при облучении пациента с использованием двухволновой схемы равна:

$$\begin{aligned} D_{\text{ДВРД1}} &= \frac{D_{\text{ДВ}}[\text{фотон} \cdot \text{кэВ}] \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \left[\frac{Дж}{\text{кэВ}} \right]}{0,096[\text{кг}]} = \\ &= \frac{1,74 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \cdot 10^6}{0,096} = 2,89 [\text{мкГр}] \end{aligned} \quad (39)$$

При уменьшении силы тока в 4 раза поглощенная доза для двухволновой схемы исследований будет равна $D_{\text{ДВРД2}} = 4,34 \cdot 10^8$ [фотон · МэВ] = $0,72$ [мкГр].

Итоговые значения для сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 2.1 – Сравнительные характеристики для двухэнергетической и двухволновой схемы исследований.

	ДЭРД		ДВРД	
	1 мА	0,25 мА	1 мА	0,25 мА
Стат. Погрешность, %	0,60	1,20	0,50	1,00
Поглощенная доза, мкГр	211,60	52,90	2,89	0,72

Отношение поглощенной дозы при использовании в качестве прибора ДЭРД и ДВРД равно:

$$\frac{D_{\text{ДЭ}total1}}{D_{\text{ДВ}total1}} = 73,47. \quad (40)$$

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной дипломной работе основной целью являлось разработка способа двухволновой денситометрии и устройства для его реализации.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является возможность рентгеновской денситометрии с уменьшенной дозой облучения. Новизна технических решений заключается в использовании квантовой схемы регистрации излучения и монохроматизации излучения с помощью акустооптического рентгеновского монохроматора.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные и коммерческие медицинские учреждения, а также, неразрушающий контроль и все области деятельности, связанные с контролем качества и безопасностью:

таможня, пищевая, нефтегазовая, химическая промышленности и др., в том числе, научные исследования композитных и фазовых объектов, используемые для разработки новых материалов.

Сегментировать рынок услуг по использованию конкретной модели контейнера можно относительно уровня выполнения эксплуатационных требований. Результаты сегментирования представлены в рисунке 3.1.

		Технологии исследования		
		КТ	ДЭРД	ДВРД
Уровень выполнения эксплуатационных требований	Удовлетворительный			
	Выше среднего			
	Высокий			

Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка услуг относительно уровня выполнения эксплуатационных требований диагностике остеопороза

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть перечисленные выше технологии: Компьютерная Томография (К1), ДвухЭнергетическая Денситометрия (К2), ДвухВолновая Денситометрия (Бф).

Оценочная карта анализа представлена в таблице 3.1. 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 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (41)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	БК1	БК2	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Время исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
3. Надежность	0,2	5	4	5	1	0,8	1
4. Безопасность	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
5. Потребность в материальных ресурсах	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
6. Массогабаритные параметры	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
7. Простота эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
2. Стоимость разработки	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4. Финансирование разработанного метода	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого	1				4,95	3,65	4,35

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что исследованный в данной дипломной работе способ диагностики остеопороза по

многим критериям лучше, чем аналоги. Конкурентные установки не удовлетворяют заявленным критериям эффективности.

3.1.2 SWOT-анализ

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

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

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

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

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 3.2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3.2 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта		
	C1	C2	C3
B1	+	+	+
B2	+	+	+
B3	+	+	–

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

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: C1. Актуальность выбранной темы. C2. Применение современного оборудования. C3. Упрощение измерений. C4. Уменьшение конечной дозы излучения.	Слабые стороны проекта: Сл1. Малая известность проекта Сл2. Отсутствие возможности проверки исследуемого оборудования в более длительных сроках эксплуатации. Сл3. Отсутствие возможности проверки работоспособности проекта на практическом уровне.
Возможности: B1. Возможность контроля плотности кости и диагностики остеопороза B2. Возможность значительного уменьшения стоимости конечной продукции. B3. Дополнительный спрос на результаты исследования.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Обеспечение условий проведения экспериментов. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики. 3. Внедрение прибора в другие сферы производства	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Возможность финансовой поддержки и развития со стороны государства позволит как устранить проблему известности проекта, так и решить вопрос рассмотрения исследуемого прибора при более длительных сроках эксплуатации.

		2. Наличие дополнительного спроса на результаты расчетов также позволит устранить главные недостатки проекта.
Угрозы: У1. Возможность повреждения и последующего выхода из строя исследуемой установки. У2. Вероятность наличия аналогичных разработок у конкурирующей стороны. У3. Задержка финансирования проекта. У4. Несоответствие исследуемого прибора заявленным характеристикам	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Возможность выхода из строя анализирующей установки приведет к сбою в плане проведения мониторинга, но поддержка бюджетным финансированием, обусловленным актуальностью темы проекта а так же сферой его применения, и своевременная проверка состояния установки способны снизить влияние перечисленных угроз.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Проведение аналогичных экспериментов конкурирующими фирмами, возможность повреждения, задержка финансирования вкупе с перечисленными слабыми сторонами проекта, способны довольно сильно повлиять на ход проведения научного исследования, однако при наличии штата работников в этой сфере, перечисленные возможности способны в кратчайшие сроки предотвратить все негативные последствия.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества двухволнового денситометра преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ, представлена на рисунке. 3.2. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

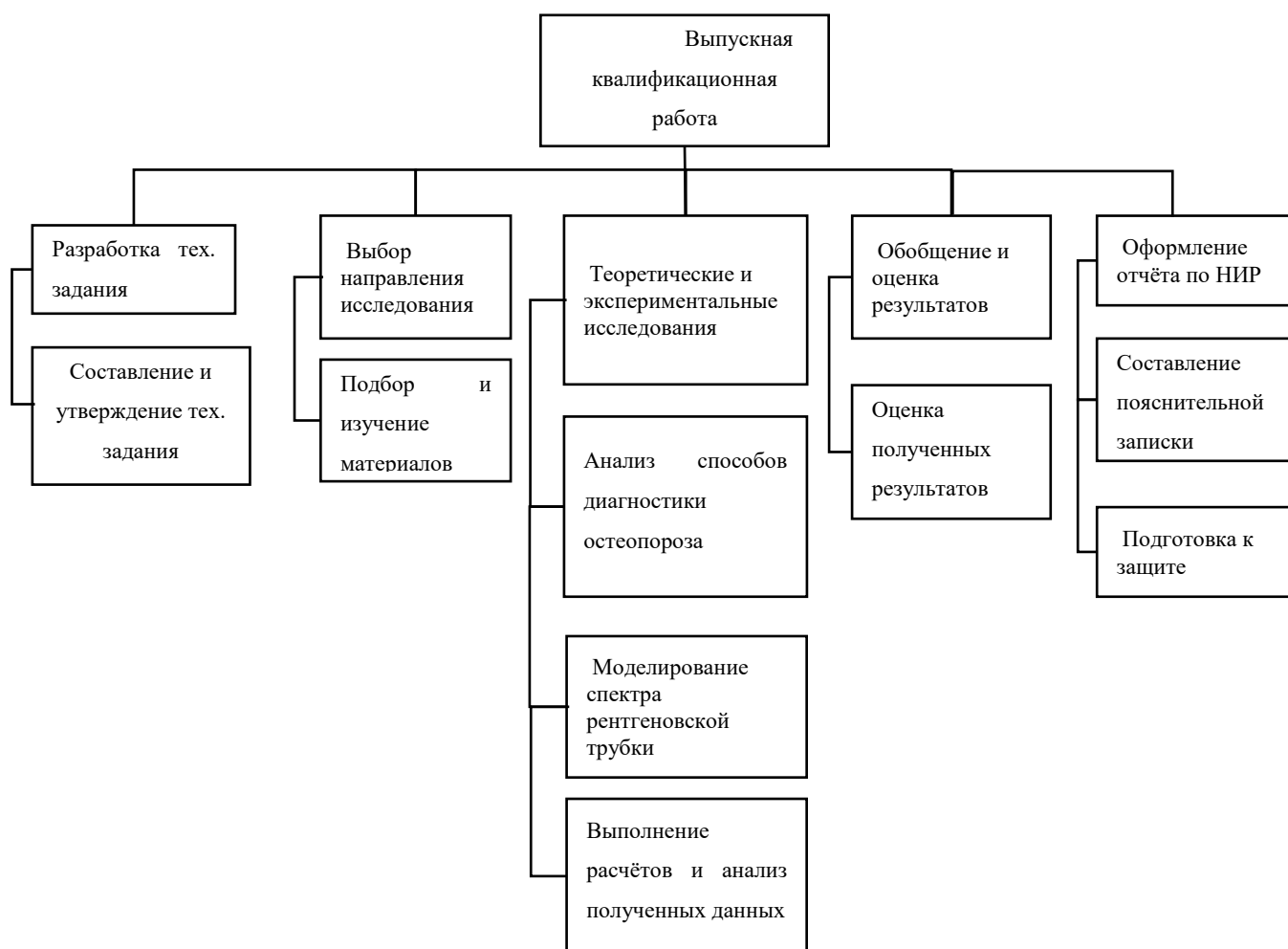


Рисунок 3.2. – Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	20.10.2016	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	25.10.2016	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	10.11.2016	
4	Подбор и изучение материалов по теме	15.11.2016	Отчёт

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
5	Календарное планирование работ	25.11.2016	План работ
6	Моделирование установки	13.12.2016- 23.12.2016	Отчёт
7	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	28.02.2017- 10.03.2017	Отчёт
8	Обобщение и оценка результатов	25.03.2017- 25.04.2017	Отчёт
9	Подготовка к защите	27.04.2017- 3.05.2017	

3.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	5	20.10.2016	25.10.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	9	26.10.2016	04.11.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	4	10.11.2016	14.11.2016	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	9	15.11.2016	24.11.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	8	25.11.2016	03.12.2016	Руководитель, студент
6	Моделирование установки	12	13.12.2016	25.12.2016	Студент

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
7	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	26	28.02.2017	24.03.2017	Студент
8	Обобщение и оценка результатов	30	25.03.2017	25.04.2017	Руководитель
9	Подготовка к защите	30	27.04.2017	27.05.2017	Руководитель, студент

В таблице 3.6 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 3.6 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
2016 год																					
1	Разработка технического задания	Рук-ль	5																		
2	Составление, утверждение технического задания	Рук-ль	9																		
3	Выбор направления исследований	Рук-ль студент	4																		
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	9																		
5	Календарное планирование работ	Рук-ль, студент	8																		
6	Моделирование установки	Студент	12																		
7	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Студент	26																		

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2016 год																		
8	Обобщение и оценка результатов	Руководитель	30															
9	Подготовка к защите	Студент	30															

3.3 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх i} , \quad (42)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 3.7.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (43)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

В течение года работа проводилась на следующей технике: 1 компьютер, 1 ноутбук, так же приведены затраты по электроэнергии на необходимое освещение при работе.

$$F_{об} \cdot P = (0,09 \cdot 90) + (0,15 \cdot 40) + (0,15 \cdot 8 \cdot 180) = 231 \text{ кВт}$$

Затраты на электроэнергию составили 1334,58 рублей.

Таблица 3.7 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	–	231 кВт	5,8	1334,58
Бумага	SvetoCopy	200	0,2	40
Печать на листе А4	–	200	2	400
Ручка	Brauberg	2	30	60
Тетрадь	–	3	15	45
Доступ в интернет	–	6 месяцев	360	2160
Всего за материалы				4039,58
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье С _м				4039,58

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

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

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

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (44)$$

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

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (35000 / 1825) = 19,18 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 40 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(ПК 1)}} = 19,18 \cdot 40 = 767,2 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{аморт(НБ)}} = (30000 / 1825) = 16,45 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 90 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(НБ)}} = 16,45 \cdot 90 = 1480 \text{ руб.}$$

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (45)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (46)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (47)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Студент за время научной работы получает стипендию, равную 2270 руб./месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (2270 \cdot 11,2) / 223 = 114 \text{ руб./день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 114 \cdot 3 \cdot 30 = 10260 \text{ руб.}$$

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

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

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

– иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью доцента, кандидата наук. Оклад доцента составляет 26300 рублей.

Надбавки к заработной плате составляют 10000 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{осн}} = 26300 \cdot 1,3 + 10000 = 44190 \text{ руб / месяц.}$$

Заработная плата за все время научной работы равна:

$$З_{\text{науч}} = 44190 \cdot 6 = 265140 \text{ руб.}$$

Таблица 3.9 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	265140	10260
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	275400	

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (48)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 275400 = 74633,4 \text{ руб.}$$

3.3.5 Накладные расходы

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

Как было показано выше, при подготовке дипломной работы было потребовано около 230 кВт*час электроэнергии, отсюда по тарифу 5,8 рублей за 1 кВт*час получим что стоимость электроэнергии будет около 1335 рублей. Так как исследования проводились в учебном корпусе университета, плата за аренду помещений не взималась. При подготовке данной работы затраты на ремонт оборудования отсутствовали.

3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	4039,58
2. Затраты на специальное оборудование	2247,2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	275400
5. Отчисления во внебюджетные фонды	74633,4
6. Накладные расходы	1334,58
Бюджет затрат исследования	357654,76

3.4 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 ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.11). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (49)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{357654,76}{357654,76} = 1; \quad (50)$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{518599,4}{357654,76} = 1,45; \quad (51)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{493563,6}{357654,76} = 1,38 \quad (52)$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (53)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 3.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Повышение производительности труда	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	4
3. Надежность	0,2	5	4	5
4. Безопасность	0,2	5	3	4
5. Потребность в материальных ресурсах	0,15	4	4	4
6. Массогабаритные параметры	0,15	5	4	4
7. Простота эксплуатации	0,1	5	4	5
ИТОГО	1	4,86	3,57	4,29

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 = 4,86;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 3,57;$$

$$\text{Аналог 2} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 = 4,29.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаи}}^{a1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; \quad I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{финр}}^{a1}}; \quad (54)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{4,86}{1} = 4,86; \quad (55)$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{3,57}{1,45} = 2,46; \quad (56)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{финр}}^{a2}} = \frac{4,29}{1,38} = 3,11. \quad (57)$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}} \quad (58)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1,45	1,38	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,57	4,29	4,86
Интегральный показатель эффективности	2,46	3,11	4,86
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,98	1,56	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [17].

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

Опасным производственным фактором, согласно [17], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 4.1.

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

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Кафедра ПФ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

На бакалавра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

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

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

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

4.2.1 Организационные мероприятия

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

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

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

4.3 Технические мероприятия

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

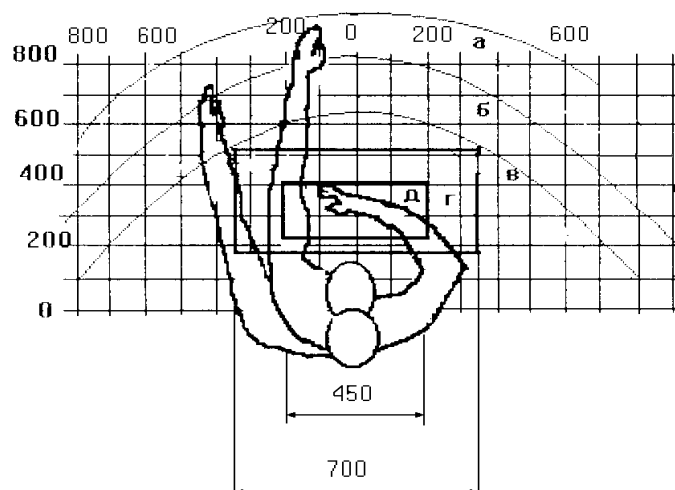


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

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

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не

менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

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

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

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

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

рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.4 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [18] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры

микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность — 40 %, скорость движения воздуха — 0,1 м/с, температура летом — 20 – 25 °С, зимой — 13 – 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

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

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. 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 [18] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

4.5 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 ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

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

- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей) [19].

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно с [20], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

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

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

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

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения — предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований были выполнены следующие задачи:

- проанализирована литература по теме «остеопороз»
- произведено моделирование спектров различных рентгеновских источников с целью подбора оптимальных параметров
- проанализирована возможность дальнейших практических исследований

В настоящее время существует множество способов диагностики остеопороза – от инвазивных методов (химические анализы на определение количества кальция в костях) до неинвазивных (ДЭРД).

«Золотым стандартом» диагностики остеопороза можно считать ДЭРД вследствие большой точности (погрешность не больше 1,5%) и малой дозовой нагрузки на пациента.

В схеме работы двухволнового денситометра может использоваться тот же источник, что и при исследовании с помощью ДЭРД.

По результатам исследований спектров различных рентгеновских источников было сделано важное открытие: трубки с серебряным анодом (в частности, трубка БСВ-29) не подходят для исследований, поскольку ХРИ серебра соответствует энергии в 22,1 кэВ, а фотоны этой энергии полностью поглощаются веществом кости.

И, как следствие, было принято решение о замене трубки на рентгеновский источник с максимальным анодным напряжением 100 кВ и материалом анода – W (вольфрам).

При исследовании чувствительности способов ДЭРД и ДВРД был сделан вывод, что для статистической погрешности не более 1,5% максимальную силу тока можно уменьшить с 1 мА до 0,25 мА, что позволит значительно уменьшить габариты установки и/или увеличить срок службы.

Еще одним важным выводом является величина поглощенной пациентом дозы: а именно, для двухэнергетического денситометра величина поглощенной дозы в 73,47 раза выше, чем при использовании в качестве прибора ДВРД.

Практическая подборка параметров в настоящий момент невозможна ввиду отсутствия необходимых устройств и материалов для исследования, а именно: рентгеновской трубки с максимальной разностью потенциалов 100 кВ, силой тока в 0,25 мА и вольфрамовым анодом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научная группа Всемирной Организации Здравоохранения // Профилактика и ведение остеопороза: Женева, 15 апреля 2004 г.
2. Внутренние болезни В 10-т. Книга 9. / Хариссон Т. Р., Под ред. Е. Браунвальда, К. Дж. Иссельбахера, Р. Г. Петерсдорфа и др. - 11-е изд. - М.: Медицина, 1997. - 464 с.
3. B. Lawrence Riggs, Sundeep Khosla, L. Joseph Melton III A Unitary Model for Involutional Osteoporosis: Estrogen Deficiency Causes Both Type I and Type II Osteoporosis in Postmenopausal Women and Contributes to Bone Loss in Aging Men // Journal of Bone and Mineral Research. - May 1998. - Volume 13, Issue 5. - Pages 763–773.
4. Мовшович И.А., Шотемор Ш.Ш. К вопросу о нестабильности позвоночника (классификация, диагностика) // Ортопедия и травматология.-1979.-№5,- С.24—29.
5. Полный справочник анализов и исследований в медицине / Ингерлейб М.Б., - М.: Омега-Л, 20 мая 2017 г. - 640 с.
6. Sören Mattsson, Brian J Thomas Development of methods for body composition studies // Physics in Medicine & Biology. - 20 June 2006. -Volume 51, Number 13.
7. Медицинские исследования: справочник / Ингерлейб М.Б., - М.: Эксмо, 2013. - 352 с.
8. Рыжакова Н.К. Ядерная физика и ее приложения [Текст] : учебное пособие / Рыжакова Н.К.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Кафедра "Прикладная физика". - 5-е, переработанное изд. - Томск: Издательство Томского Политехнического Университета, 2014. - 264 с.
9. Лекция №12. Рентгеновское излучение и его применение в медицине // <http://www.all-fizika.com>

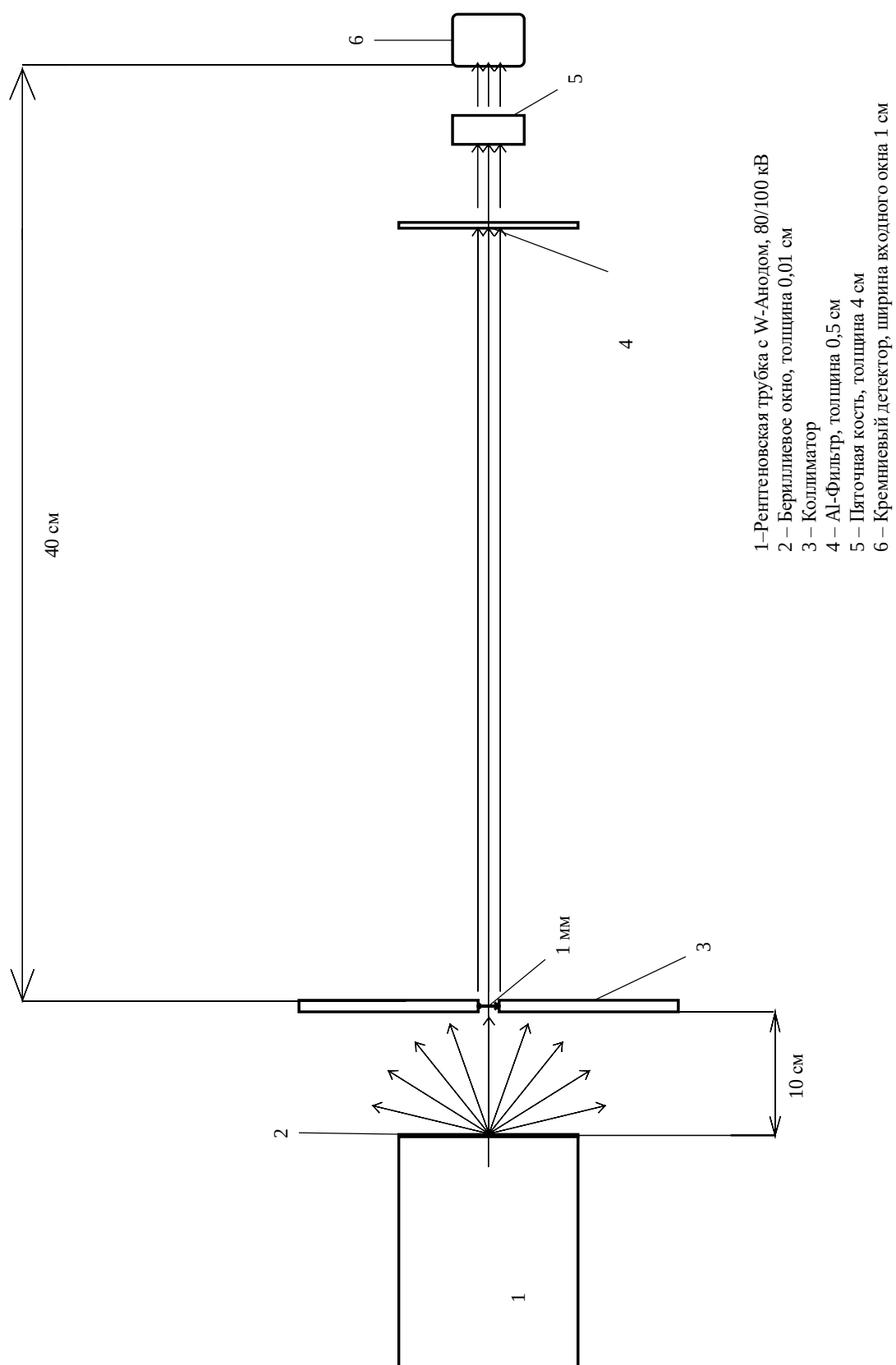
URL: http://www.all-fizika.com/article/index.php?id_article=1983 (дата обращения: 06.06.17).

10. Гладков, Владимир Евгеньевич. Вакуумная и плазменная электроника [Текст]: учебное пособие / Гладков В. Е., Березин В. М.; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Технология приборостроения". - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 201 с.
11. Руденко Э. В. Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия - метод количественной диагностики остеопороза // Новости лучевой диагностики. - 1998. - №3. - С. 16-17.
12. Антропов Н.А., Карпов Д.А., Крючков Ю.Ю., Стрежнева Т.Н. Метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии для контроля плотности водных растворов // Известия Томского Политехнического Университета. - 01.09.2010. - С. 136-140.
13. Gogolev A.S., Cherepennikov Yu.M., Vukolov A.V., Rezaev R.O., Stuchebrov S.G., Hampai D., Dabagov S.B., Liedl A., Polese C. WD-XRA technique in multiphase flow measuring // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. - 15 July 2015. - Volume 355. - Pages 276–280.
14. Богдан Т.В. Основы рентгеновской дифрактометрии [Текст]: учебное пособие / Богдан Т.В.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Химический факультет. – М.: Издательский центр МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. – 64 с.
15. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите [Текст]: / Беспалов В.И.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Кафедра "Прикладная физика". - 4-е изд. -

- Томск: Издательство Томского Политехнического Университета, 2012. - 508 с.
16. Louis Lyons Statistical Problems in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology. - London: Imperial College Press, 12-15 September 2015. - 311 с.
17. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07.
18. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.002-74; введ. 1976-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2002.
19. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988.
20. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Принципиальная схема двухэнергетического рентгеновского денситометра



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Принципиальная схема Двухволнового рентгеновского денситометра

