

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
ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОИНВАЗИВНОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ПРОТЕЗОВ АОРТАЛЬНЫХ КЛАПАНОВ

УДК 616-073.756.8:616.126.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Хегай Артем Григорьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник РКНЛ РКД	Батрагин А. В.	к. т. 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.		

Томск – 2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
<i>Общекультурные компетенции</i>	
1	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.
2	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.
3	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.
4	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.
5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
6	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.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
8	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).
9	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.
10	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.
11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
12	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.
13	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;
14	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.
15	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
0АЗА	Хегай Артему Григорьевичу

Тема работы:

ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОИНВАЗИВНОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ПРОТЕЗОВ АОРТАЛЬНЫХ КЛАПАНОВ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Рассмотрена малоинвазивная система доставки протезов аортальных клапанов, катетеризация малоинвазивной системы начинается с пункции бедренных сосудов. В состав набора для катетеризации входит: катетеры, проводник, дилататор (сосудорасширитель), пункционная игла, шприц, фиксатор.</p>
<p>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></p>	<p>1) Провести аналитический обзор литературных источников с целью ознакомления с хирургическими этапами ангиографии 2) Постановка актуальности, цели и задач исследования. 3) Выполнить томографическое сканирование системы доставки. 4) Выполнить соответствующую обработку полученных объемных данных с целью получения трехмерной модели системы доставки. Анализ полученных результатов, создание</p>

	цифровой модели объекта.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
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
Младший научный сотрудник РКНЛ РКД	Батрагин Андрей Викторович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Хегай Артем Григорьевич		

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:	05.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.01.2017	Обзор литературных источников и технической литературы	10
27.02.2017	Томографическое сканирование системы доставки	10
20.03.2017	Обработка полученных объемных данных и построение трехмерной модели	10
03.04.2017	Анализ полученных результатов, создание цифровой модели объекта. Выводы.	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник РКНЛ РКД	Батрагин Андрей Викторович	Кандидат технических наук		

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	Хегай Артему Григорьевичу

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>	Затраты на спецоборудование 576 руб. Основная заработная плата исполнителей темы 24102 руб. Затраты на электроэнергию 2288 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 6531 руб. Накладные расходы 5833 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	Хегай Артем Григорьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Хегай Артему Григорьевичу

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»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	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	Хегай Артему Григорьевичу		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: страниц – 85, рисунков – 27 , таблиц – 28, источников – 30.

Ключевые слова:

- компьютерная томография;
- томографическая установка;
- визуализация;
- томограмма;
- сегментация.

Цель работы: создание трехмерных моделей компонентов системы доставки на основании томографических данных высокого разрешения.

В настоящее время широко используется малоинвазивная система доставки протезов для замены аортального клапана в сердце. Система доставки состоит из нескольких компонентов, изготовленных из разных материалов. Компоненты находятся в тесном контакте друг с другом. Компьютерная томография высокого разрешения позволяет построить цифровые модели объектов, которые дальше будут использоваться в компьютерной имитации работы системы доставки при проведении хирургических операций. Для построения точных цифровых моделей, отдельных компонентов, необходимо подобрать оптимальный режим томографического сканирования и корректно провести выделение цифровых моделей по полученным томографическим снимкам.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Томография – получение послойного изображения внутренней структуры объекта.

Рентгеновская трубка/аппарат – электровакуумный прибор, предназначенный для генерации рентгеновского излучения.

Детектор рентгеновского излучения – устройство, предназначенное для обнаружения и измерения параметров рентгеновского излучения.

Орел-МТ – автоматизированная томографическая установка.

Пиксель – (с англ. pixel) наименьший логический элемент двумерного цифрового изображения.

КТ – компьютерная томография

SNR – (с англ. Signal-to-noise ratio) значение определяющее отношение «сигнал/шум»

Roi – (с англ. Region of interest) выбранная область на изображении.

GV – (с англ. Grey value) значение определяющее уровень ослабления излучения в размерности градации серого.

УП – управляемый проводник, являющийся объектом исследования.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ	15
2. МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ.....	17
2.1 Программное обеспечение.....	20
3. ЭКСПЕИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	22
3.1 Определение оптимального режима сканирования	22
3.2 Томографическое исследование.....	30
3.2.1 Получение и реконструкция данных	30
3.2.2 Сегментация изображений	36
4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ	43
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	44
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	45
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПВЭМ и рентгеновской установке.....	47
5.2.1 Организационные мероприятия	47
5.2.2 Технические мероприятия	48
5.2.3 Условия безопасной работы	50
5.3 Радиационная безопасность.....	52
5.4 Электробезопасность.....	55
5.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	56
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	58
6.1 Предпроектный анализ.....	58
6.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсэфективности и ресурсосбережения	59
6.2.1 Технология QuaD	59
6.2.2 SWOT-анализ.....	61
6.3 Планирование научно-исследовательских работ	63
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	63
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	64
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	66
6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	71

6.3.4.1	Расчет затрат на электроэнергию	71
6.3.4.2	Расчет материальных затрат на специальное оборудование	72
6.3.4.3	Расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ	73
6.3.4.4	Расчет заработной платы сотрудников.....	74
6.3.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	77
6.3.4.6	Накладные расходы	77
6.3.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	78
6.4	Определение ресурсной экономической эффективности исследования	79
	Заключение	82
	Список используемых источников.....	83

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день рентгеновская томография, прочно заняла одно из ведущих мест среди методов неразрушающего контроля не только в сфере медицины и биологии, но и в других областях наук. Развитие компьютерной томографии связано как с прогрессом вычислительной, так и рентгеновской техники. Предлагаемая методика контроля и 3D-моделирования заключается в создании объемной модели реального изделия, при этом используются данные, полученные методом рентгеновской томографии. Такие модели отражают реальную геометрическую форму изделия, а также скрытые дефекты.

Для эффективной количественной оценки характеристик системы доставки используется компьютерное моделирование. Метод в большинстве случаев применяется при разработке новых моделей клапана и системы доставки, это позволяет изучить независимое влияние различных параметров конструкции на функционирование и ресурс, также позволяет исследовать механизмы деформации. Очевидными преимуществами компьютерного моделирования являются:

- отсутствие необходимости в построении дорогостоящих и требующих больших временных затрат механизмов;
- возможность симуляции сложных физиологических процессов, трудноосуществимых в рамках стендового тестирования.

В данной работе для исследования объекта была применена трансмиссионная томография, в данном методе используется схема сканирования расходящимся коническим пучком, источником ионизирующего излучения служит рентгеновская трубка, ослабленное излучение, прошедшее через объект регистрируется плоскочувствительным детектором, при этом объект исследования вращается, что обеспечивает получение картин ослабленного излучения с многих ракурсов.

Цель работы: томографическое исследование малоинвазивной системы доставки протезов аортальных клапанов

Задачи

- Провести литературный обзор по теме 3D моделирования инструментами компьютерной томографии;
- Выбрать режим просвечивания для объекта на томографической установке;
- Провести анализ полученных данных;
- Составить рекомендацию по томографическому исследованию для системы доставки имплантов.

1. МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ

Для получения томограмм в работе был использован рентгеновский микротомограф «Орел-МТ», разработанный в Международной лаборатории неразрушающего контроля (Tomsk Open Laboratory for materials Inspection, TOLMI) (см. рис. 1) [1]. Установка «Орел-МТ» состоит из рентгензащищённого корпуса, внутрь которого помещены: рентгеновский аппарат, система позиционирования из 5 приводов и детектор. Предметный столик и детектор имеют по 2 степени свободы в горизонтальной плоскости. Установка так же снабжена манипулятором, вращающим объект контроля, что позволяет выполнять сбор проекций для трёхмерной компьютерной томографии. Установка состоит из отдельных устройств (см. таб. 1.1), основные технические характеристики установки приведены в таблице 1.2-1.4.

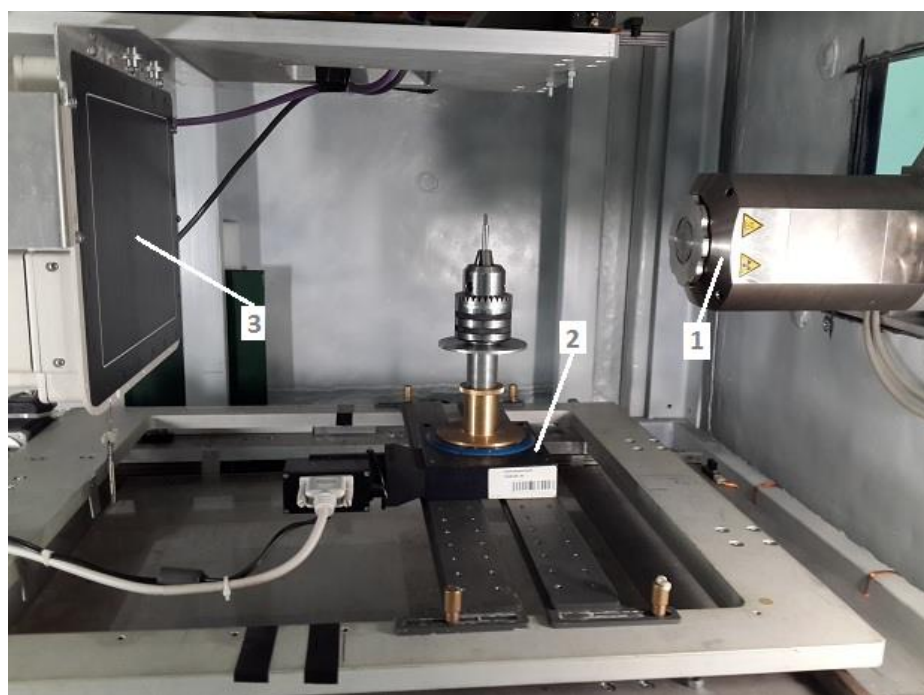


Рисунок 1 – Общий вид установки: 1 – источник излучения; 2 – ротационный стол; 3 – детектор.

Таблица 1.1 – Отдельные устройства томографа «Орел-МТ».

Название устройства	Производитель
Аппарат рентгеновский микрофокусный XWT 160-ТС [2]	X-RAY WorX GmbH, Германия
Детектор матричный PaxScan-2520V[3]	Varian Medical Systems., США
Линейный манипулятор MDrive Plus 42 с встроенной электроникой	Schneider Electric Motion, США
Прецизионная поворотная платформа MS208Ec контроллером C-663	Physik Instrumente (PI) GmbH & Co., Германия

Таблица 1.2 – Основные технические характеристики манипулятора и поворотной системы установки.

Линейный манипулятор	MDrive Plus 42
Диапазон перемещения, мм	0-400
Поворотная система	MS208Ec
Минимальный угловой шаг, °	0,007

Таблица 1.3 – Основные технические характеристики рентгеновского аппарата XWT 160-ТС.

Рентгеновский аппарат	XWT 160-ТС (X-RAY WorX)
Анодное напряжение, кВ	10 - 160
Анодный ток, мкА	1 - 1000
Фокусное пятно, мкм	1,4

Таблица 1.4 - Основные технические характеристики детектора PaxScan-2520V.

Детектор - панель	PaxScan-2520V (Varian)
Размер детектора, мкм	127
Рабочая область детектора, мм	193x242
Размер матрицы, пиксель	1900x1516

2. МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

В данном разделе рассмотрен алгоритм томографического исследования. При использовании схемы сканирования коническим пучком предполагается проекционное увеличение. Увеличение тем больше, чем ближе находится объект к источнику (рис. 2) [4].

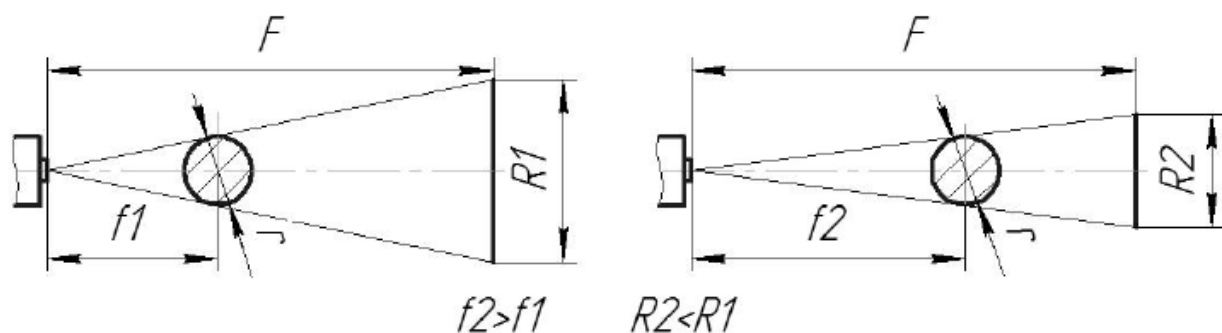


Рисунок 2 – Использование проекционного увеличения: F – расстояние «источник-детектор», $f1, f2$ – расстояния «источник-объект», $R1, R2$ – размер «тени» объекта, r – размер объекта.

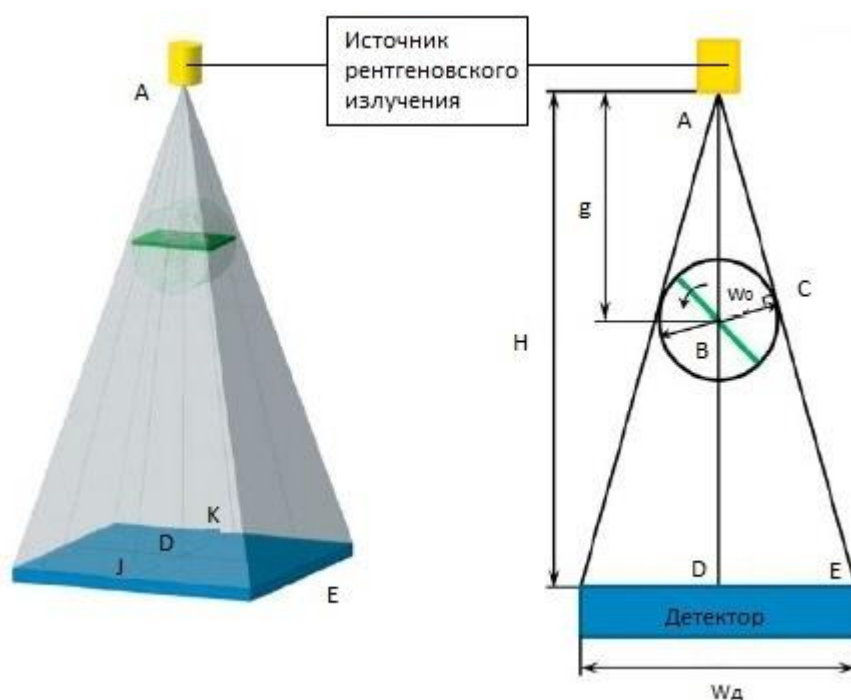


Рисунок 3 – Взаимное расположение рентгеновской трубки, детектора и образца.

Исходя из подобия треугольников ABC и AED (рис. 3):

$$\frac{BC}{DE} = \frac{AB}{AE}, \quad (1)$$

откуда:

$$BC = \frac{AB \cdot DE}{AE} = \frac{gw_d}{2\sqrt{H^2 + \frac{w_d^2}{4}}} = \frac{gw_d}{\sqrt{4H^2 + w_d^2}}, \quad (2)$$

Зная BC, найдем ширину объекта:

$$w_0 = 2BC = \frac{2gw_d}{\sqrt{4H^2 + w_d^2}}, \quad (3)$$

Принимая во внимание, что при вращении на 360° исследуемый объект не должен задевать рентгеновскую трубку и детектор, получим следующие ограничения на размеры объекта:

$$w_0 < 2(g - d),$$

$$w_0 < 2(H - g - d),$$

Данные рассуждения справедливы для объекта, толщиной которого можно пренебречь. Если необходимо учесть толщину объекта h_0 , то формула для расчета ширины объекта w_0' будет иметь следующий вид:

$$w_0' = \sqrt{w_0^2 - h_0^2} = \sqrt{\frac{4g^2w_d^2}{4H^2 + w_d^2}}, \quad (4)$$

Размер вокселя рассчитывается как отношение размера пикселя детектора p к геометрическому увеличению M ($M=H/g$):

$$v = \frac{p}{M} = \frac{pg}{H}, \quad (5)$$

Объемные данные о внутренней структуре представляют собой дискретный трехмерный массив, составленный из объемных элементов – вокселей (*англ.* voxel – volumetric pixel). В каждом вокселе хранится некоторая величина, характеризующая усредненный по объему коэффициент ослабления излучения, который также называют рентгеновской плотностью [5].

Минимальный детектируемый элемент внутренней структуры не может быть меньше размера вокселя. Таким образом, размер вокселя задает

максимальное пространственное разрешение томографических данных и является одним из ключевых параметров сканирования.

Метод компьютерной томографии можно разделить поэтапно, следующим образом [6]:

- 1) На первом этапе, рентгеновское излучение, полученное с помощью рентгеновской трубки, взаимодействует с образцом.
- 2) На этапе детектирования ослабленное рентгеновское излучение, прошедшее через объект, регистрируется на матрице детектора, фотоны рентгеновского спектра переходят в видимое излучение и преобразовываются в электрический сигнал фотодиодами.
- 3) На этапе аналого-цифрового преобразования электрический сигнал фотодиодов подвергается пространственной дискретизации и оцифровке.
- 4) На этапе реконструкции происходит повторная дискретизация сигнала, которая зависит от числа полученных проекций и углового шага сканирования.
- 5) На этапе обработки и представления изображения происходит окончательная дискретизация сигнала, при которой вещественные значения полученных коэффициентов ослабления переводятся в целочисленные значения графического формата, необходимого для отображения на мониторе [7].

Узкий монохроматический пучок с интенсивностью I_0 при прохождении в веществе толщиной x ослабляется по закону Бира-Ламберта-Бугера:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}, \quad (6)$$

Величина μ называется линейным коэффициентом ослабления и характеризует относительное уменьшение интенсивности на единице пути излучения через вещество. Линейный коэффициент ослабления определяется как произведение плотности вещества ρ и массового коэффициента ослабления μ/ρ , который в свою очередь является функцией от энергии излучения E и атомного номера Z [8].

$$\mu = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) (E, Z) \cdot \rho, \quad (7)$$

Массовый коэффициент ослабления есть табличная величина, измеренные значения которой можно найти в справочниках [9]. Один из самых полных и популярных справочников опубликован на сайте Национального института стандартов и технологий США (англ. The National Institute of Standards and Technology, NIST).

2.1 Программное обеспечение

Цифровая радиография и томография [10] обслуживаются специализированным программным обеспечением на протяжении всего тракта преобразования сигнала: от его генерации – до представления обработанных объемных данных на дисплее персонального компьютера или других устройств вывода информации. От возможностей используемых программных решений зависит быстродействие системы (а значит – и ресурсоэффективность), информативность получаемых данных, качество сегментации и объемного рендеринга. Выбор ПО для работы в рамках настоящего исследования осуществлялся исходя в первую очередь из требуемого функционала, так же принималось во внимание наличие бесплатных версий и цена лицензии клиента программы. Были отобраны и использованы следующие программные пакеты:

- X-Ray Work operating software

Программное обеспечение, поставляемое вместе с микрофокусным рентгеновским аппаратом XWT 160-ТС предназначенное для управления и контроля состояния рентгеновской трубки, а так же компрессорного блока и блока электроники. Позволяет производить автоматическое нагнетание вакуума, прогрев системы, центрирование пучка излучения. Посредством данного ПО осуществляет поддержку режима сканирования, в частности – регулировка напряжения и тока рентгеновского аппарата.

– Диада

ПО, разработанное в ИНК Томского политехнического университета [11] Диада - программа для захвата, цифровой обработки, визуализации и анализа 16 битовых полутоновых изображений и их последовательностей. Программа интегрирует в один интерфейс управление приводами и цифровыми устройствами захвата изображения.

– SkyScan NRecon

Программный пакет SkyScan NRecon [12] используется для реконструкции поперечных сечений исследуемого объекта по томографическим проекционным снимкам (в частности – по проекциям снятым с использованием конической геометрии пучка).

– SkyScan CTAnalyser

CT-Analyser (CTAn) [13] – компьютерное приложение, разработанное SkyScan Bruker CT для измерения количественных параметров и конструирования визуальных моделей с использованием объемных данных, полученных при помощи других программных инструментов SkyScan. Однако пакет может работать так же и с томографическими данными, полученными иным способом, и предлагает объемный рендеринг в реальном времени и сохранение получаемых объемных моделей в распространенных форматах.

CTAn позволяет проводить количественные измерения, включающие измерения плотности (по коэффициентам ослабления вокселей) и морфометрию, последняя производится с использованием сегментированных (бинаризованных) изображений. Функционал пакета так же включает в себя набор плагинов для обработки изображения и сегментации, включающий логические, математические, морфологические и прочие операции, а так же возможность интеграции с пользовательскими плагинами.

– SkyScan CT-Volulme

CT-Volume (CT-Vol) [14] – программное обеспечение, разработанное SkyScan для просмотра и манипуляций трехмерными поверхностями,

сгенерированными с использованием данных микротомографии. Функционал включает в себя так же инструменты сглаживания, цветовой кодировки, регулирования прозрачности моделей.

– ISee!

Программное обеспечение, разработанное Федеральным институтом исследований и испытаний материалов, Берлин – Германия (BAM). Данное программное обеспечение позволяет проводить автоматизированный анализ цифровых рентгенограмм с помощью измерений профилей.

3. ЭКСПЕИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При исследовании двух проводников, в системе доставки, необходимо получить наибольшее разрешение и наилучшую контрастность теневых проекций. Сами проводники отличаются друг от друга своей внутренней структурой, поэтому для каждого проводника будет выбран оптимальный режим сканирования.

3.1 Определение оптимального режима сканирования

Для оценки теневой проекции используется безразмерная величина, отношение «сигнал/шум» (англ. Signal-to-noise ratio, SNR). SNR определяется в виде обратной величины коэффициента вариации, т.е. отношением среднего значения сигнала μ к его стандартному отклонению σ [15].

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma}, \quad (10)$$

Уровень шума обратно пропорционален квадрату числа полученных квантов, т.е. дозе излучения. Доза излучения D , в свою очередь, зависит от электрической мощности трубки: ускоряющего напряжения U и тока мишени I ; от времени накопления t , а также от расстояния S между источником и детектором следующим образом:

$$D \approx \frac{IU^2}{S^2} t, \quad (11)$$

Основными параметрами регулирования дозы являются время накопления и ускоряющее напряжение.

Однако для одного кадра получаемая доза ограничена некоторым пороговым значением, обусловленным насыщением считывающей электроники. Для детектора PaxScan-2520V динамический диапазон составляет 16000 отчетов, производители рекомендуют регистрировать сигнал на уровне 50% и чуть выше от максимального динамического диапазона, поэтому оптимальным уровнем «белого» сигнала будет составлять 8000 – 10000. В таблице 3.1 приведены режимы сканирования, примененные для двух проводников, напряжение рентгеновской трубки варьировалось от 50 до 140 кВ, для получения теневой проекции было выбрано накопление – 4 кадра.

Таблица 3.1 – Томографические параметры сканирования.

U, кВ	I, мкА	ν , 1/с	t, сек	N_{cp}
50	39	0,5	2	34961
75	33	1,5	0,66	36642
100	39	3	0,33	35872
125	29	5	0,20	36069
140	22	3	0,33	37110

где:

U – анодное напряжение рентгеновской трубки;

I – анодный ток;

ν – частота накопления;

t – время накопления;

N_{cp} – среднее значение цифровых отсчетов.

С помощью программного обеспечения «ISee!» можно определить значение сигнал-шум, уровень ослабленного излучения и другие параметры по полученным теневым проекциям.

Как видно на рис. 4, в окне «Statistics in window» по области «Roi0», размер которой 251x96 пикселей, можно определить значение «сигнал-шум» по полученной теневой проекции, значение SNR = 338,7 и стандартное отклонение $\sigma = 104,7$.

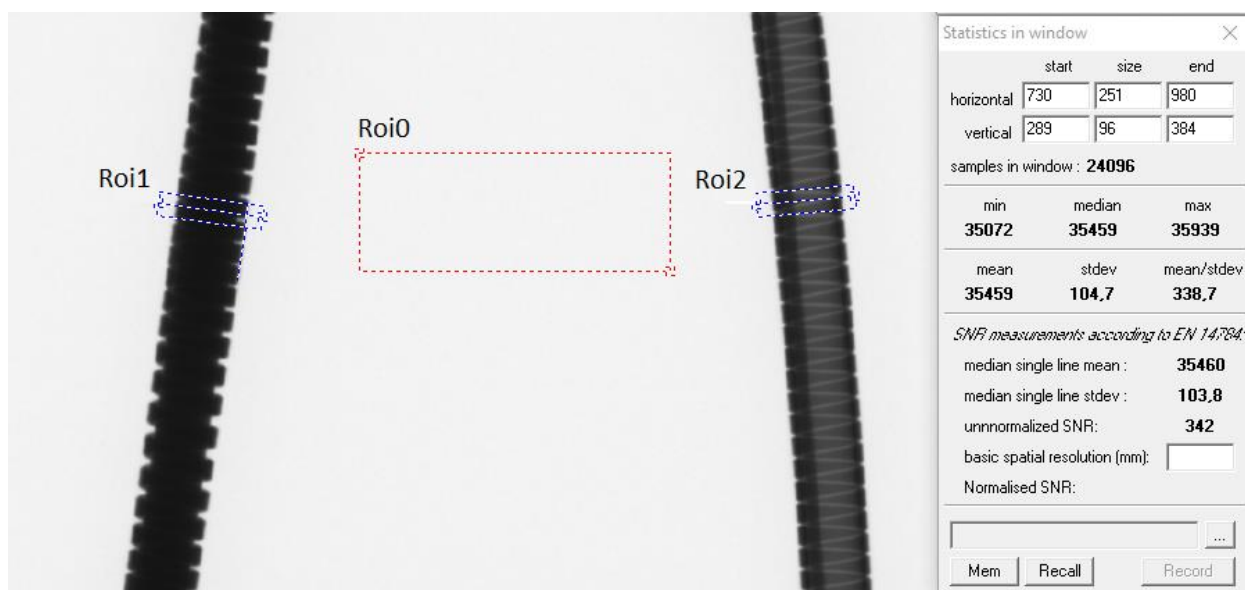


Рисунок 4 – Теневая проекция объекта при напряжении рентгеновской трубки 50 кВ.

Необходимо учесть, что при изменении какого-либо параметра сканирования (времени накопления, напряжения рентгеновской трубки, анодного тока или типа детектора и т.д.) измерения SNR должны быть произведены повторно. Таким образом, отношение сигнал-шум (SNR) само по себе не является характеристикой системы и должно быть приведено с указанием всех условий, при которых оно было измерено, поэтому результаты измерений удобно представлять графически.

Для определения уровня ослабленного излучения, по выбранным областям для первого и второго проводника, используем окно «Profiler», также в программном обеспечении «ISee!». Исходя из выбранного профиля на рис. 4

по области «Ro1» для первого проводника, можно определить уровень ослабленного излучения, значение которого составляет 3274 gv. Уровень неослабленного излучения составляет 34863 gv.

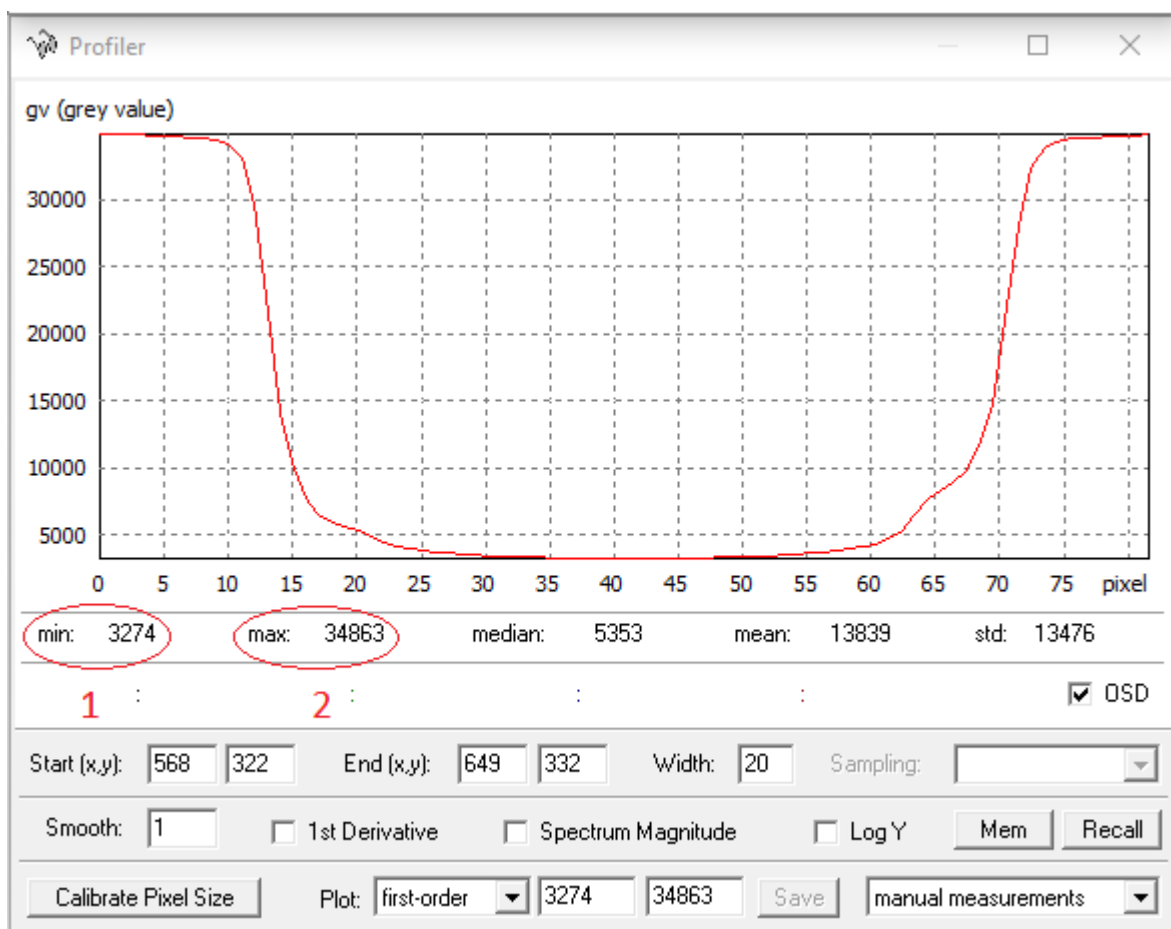


Рисунок 5 – Определение уровня ослабленного излучения от напряжения рентгеновской трубки 50 кВ для первого проводника в области «Ro1».

Аналогичный действия были проведены и со вторым проводником, значение уровня ослабленного излучения составило 6016 gv, уровень неослабленного излучения равен 35065 gv (см. рис. 6).

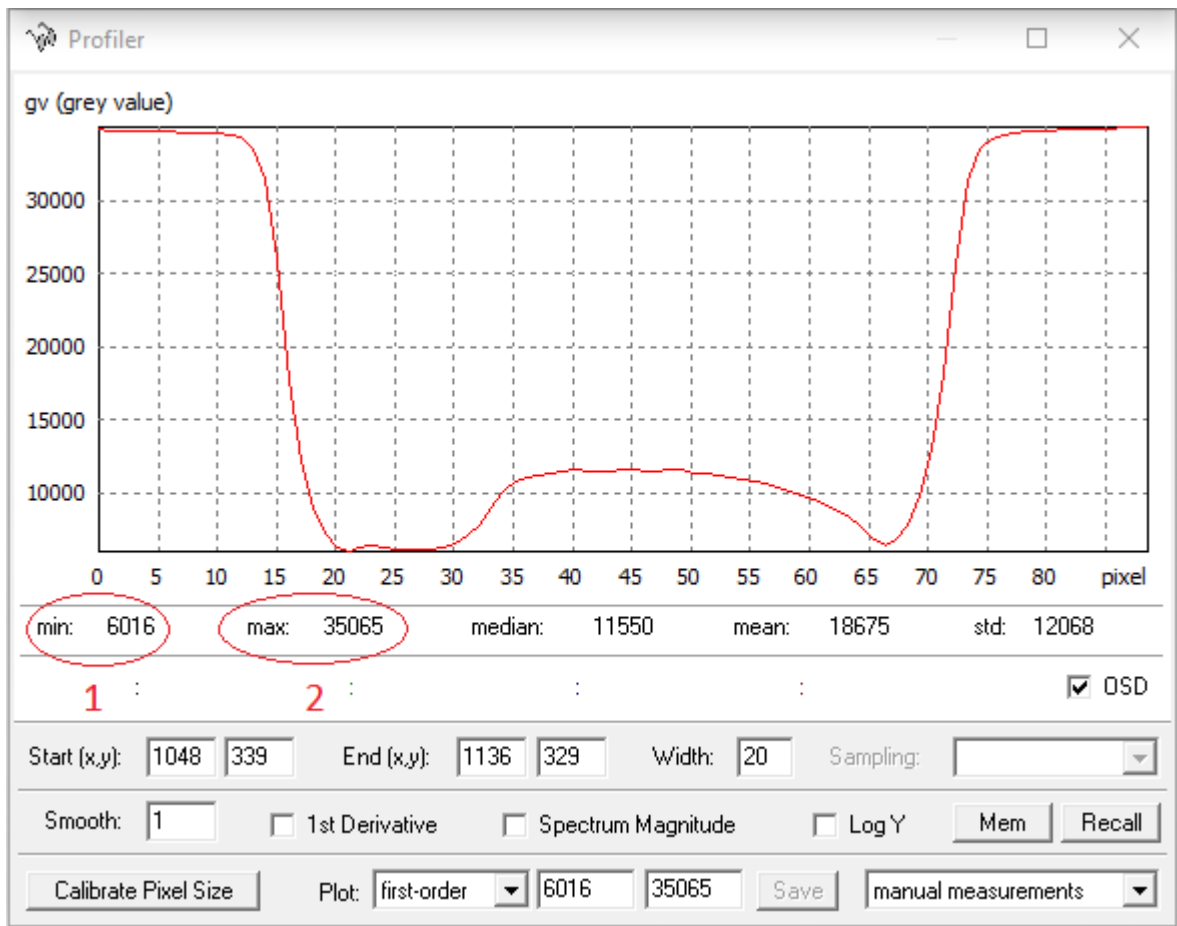


Рисунок – 6 Определение уровня ослабленного излучения от напряжения рентгеновской трубки 50 кВ для второго проводника в области «Roі2».

Полученные результаты при других режимах сканирования, были произведены, также как и показано на рис. 4 – 6. Все полученные результаты были занесены в таблицу 3.2 – 3.4.

Таблица 3.2 – Значения «сигнал-шум» полученные при разных напряжений рентгеновской трубки.

U, кВ	50	75	100	125	140
SNR (Сигнал-шум)	338,7	307,7	284,4	267,0	263,6

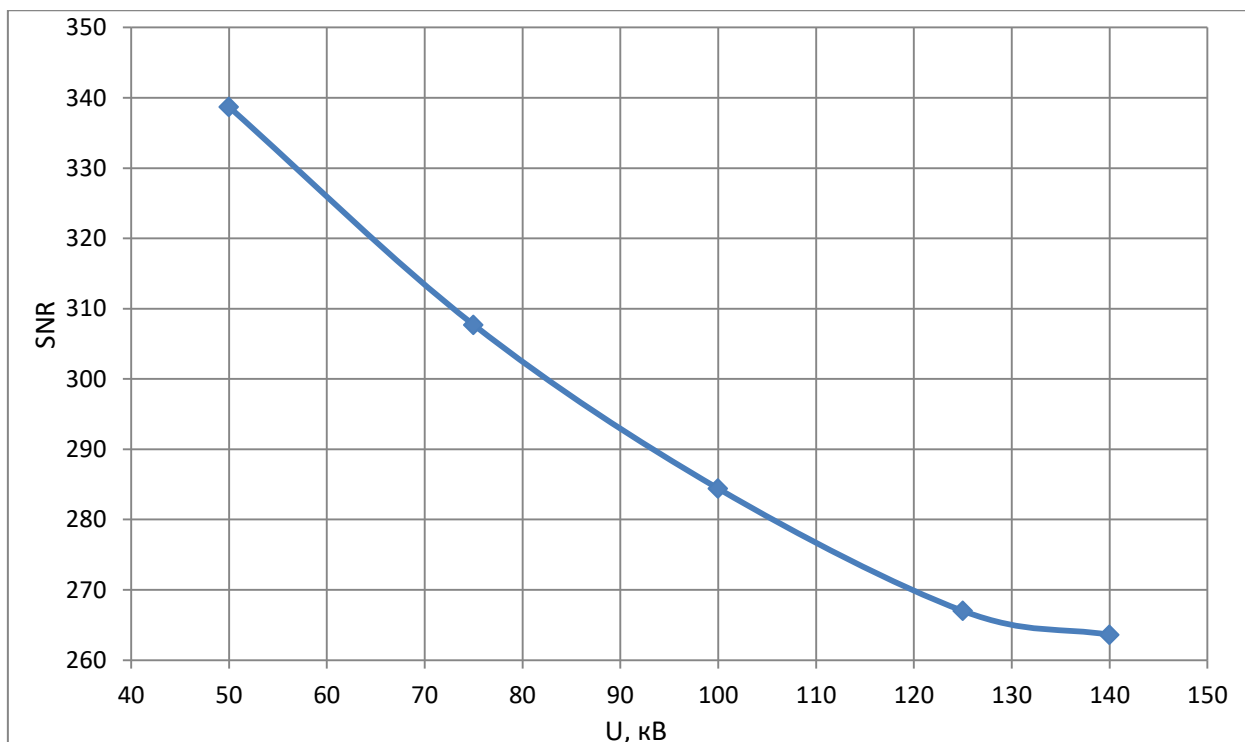


Рисунок – 7 Зависимость SNR от напряжения рентгеновской трубки U.

На рис. 7 представлен график зависимости SNR от анодного напряжения рентгеновского аппарата. Как видно, в среднем SNR убывает с увеличением анодного напряжения, что становится более заметно с уменьшением времени накопления.

Таблица 3.3 – Значения уровней ослабленного и не ослабленного излучения, полученные при разных напряжениях рентгеновской трубки для первого проводника в области «RoI1».

U, кВ	50	75	100	125	140
$I_{\text{ослб}}, \text{gV}$	3274	6959	9733	12511	14166
$I_{\text{не ослб.}}, \text{gV}$	34863	35669	35411	35231	36295
$I_{\text{ослб.}}/I_{\text{не ослб.}}$	0,092	0,170	0,275	0,355	0,390
$\Delta I_{\text{ослб.}}/\Delta I_{\text{не ослб.}}$	0,006	0,009	0,015	0,014	0,016

Таблица 3.4 – Значения уровней ослабленного и не ослабленного излучения, полученные при разных напряжениях рентгеновской трубки для второго проводника в области «Roі2».

U, кВ	50	75	100	125	140
$I_{\text{ослб}}, \text{gV}$	6016	11087	14343	16717	18283
$I_{\text{не ослб.}}, \text{gV}$	35325	36043	35215	35389	36583
$I_{\text{ослб}}/I_{\text{не ослб.}}$	0,170	0,308	0,407	0,472	0,499
$\Delta I_{\text{ослб}}/\Delta I_{\text{не ослб.}}$	0,005	0,006	0,008	0,009	0,013

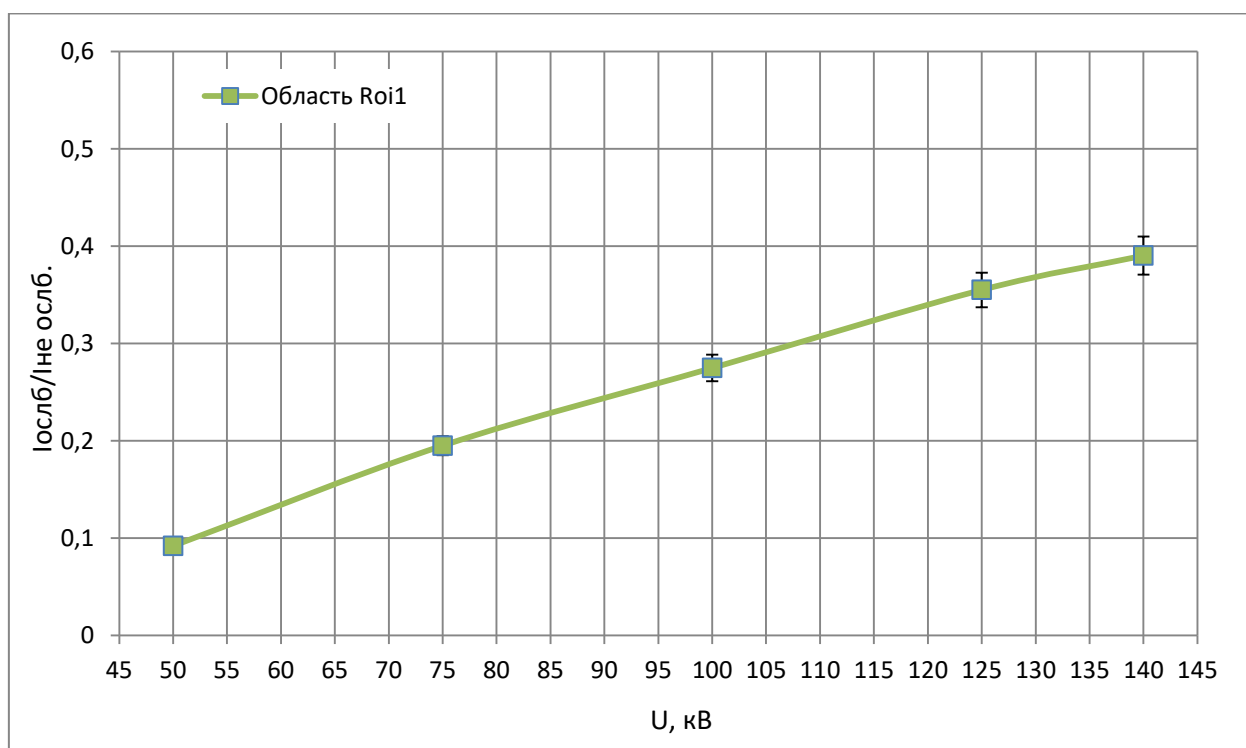


Рисунок – 8 Зависимость $I_{\text{ослб}}/I_{\text{не ослб.}}$ от различного напряжения рентгеновской трубки U для первого проводника в области «Roі1».

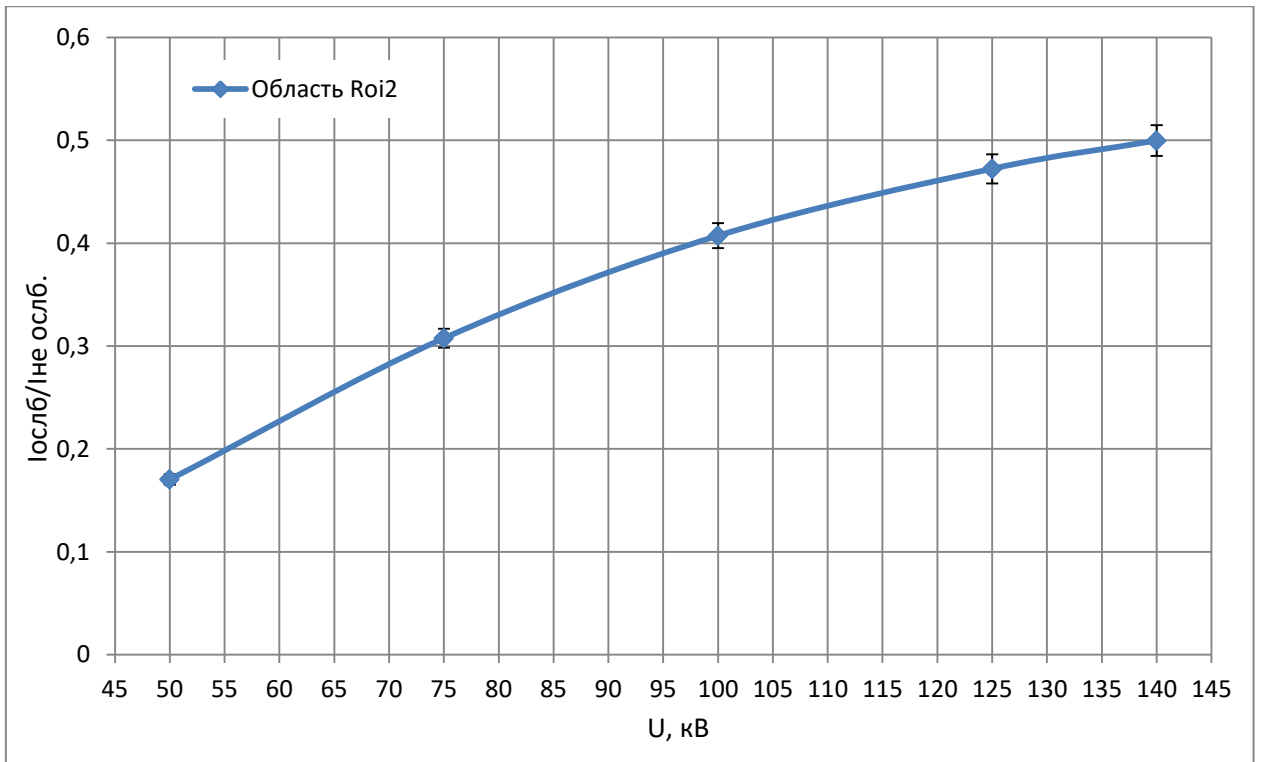


Рисунок – 9 Зависимость $I_{\text{ослб.}}/I_{\text{не ослб.}}$ от различного напряжения рентгеновской трубки U для второго проводника в области «Roi2».

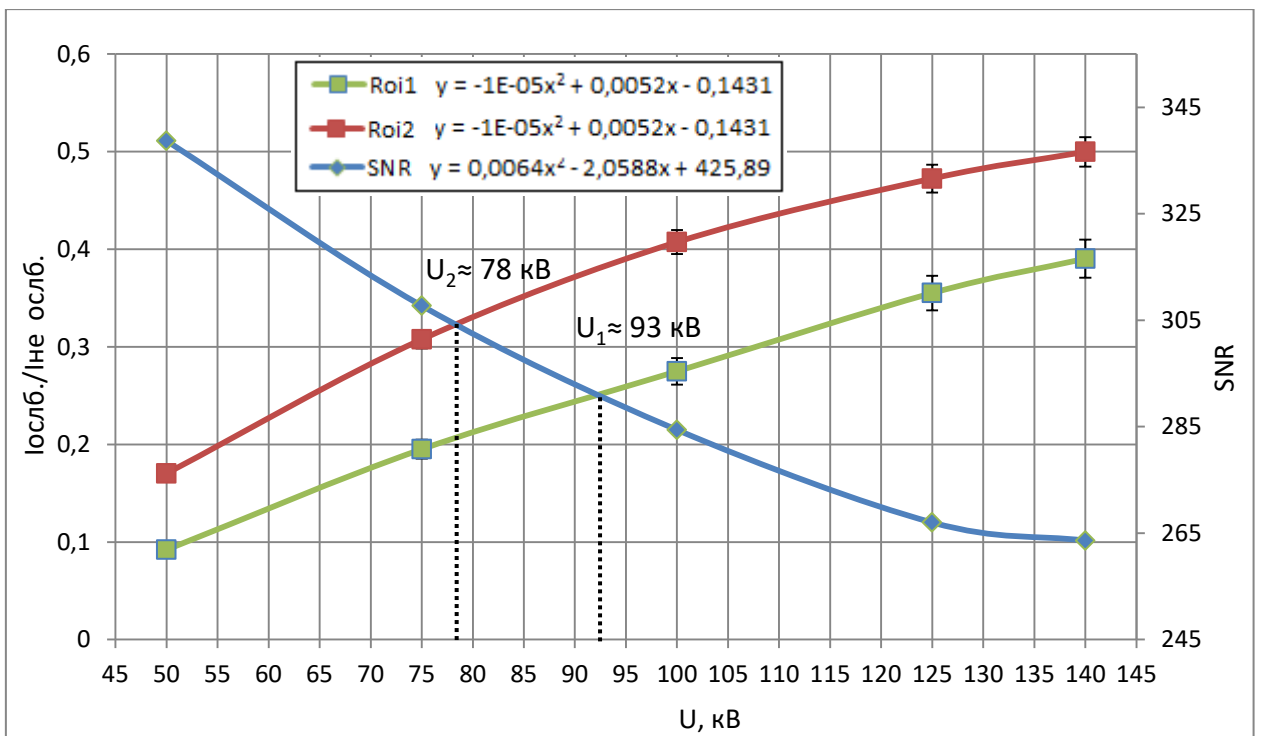


Рисунок – 10 Определение оптимального режима сканирования для первого и второго проводника.

Исходя из рис. 10 оптимальный режим сканирования для первого проводника должен быть при $U_1 \approx 93$ кВ и для второго проводника $U_2 \approx 78$ кВ.

3.2 Томографическое исследование

3.2.1 Получение и реконструкция данных

Исходя из главы 3.1, для набора сета теневых проекций, для первого проводника, были выбраны следующие параметры томографического сканирования:

- Объект – источник: 20 мм.
- Детектор – источник: 450 мм.
- Количество проекций: 1200
- Угол вращения: 360° .
- Угловой шаг: $0,3^\circ$.
- Размер пикселя: 5,64 мкм.

Таблица 3.2.1 – Параметры томографического сканирования.

№	U, кВ	I, мкА	v , 1/с	t, сек	N_{cp}
1 проводник	70	31	1,5	0,66	36158
	93	33	3,75	0,26	36548
	125	29	5	0,20	36958

В результате сканирования были получены теневые проекции (см. рис. 11), с помощью программы SkyScan NRecon реконструировали поперечные сечения исследуемого УП.

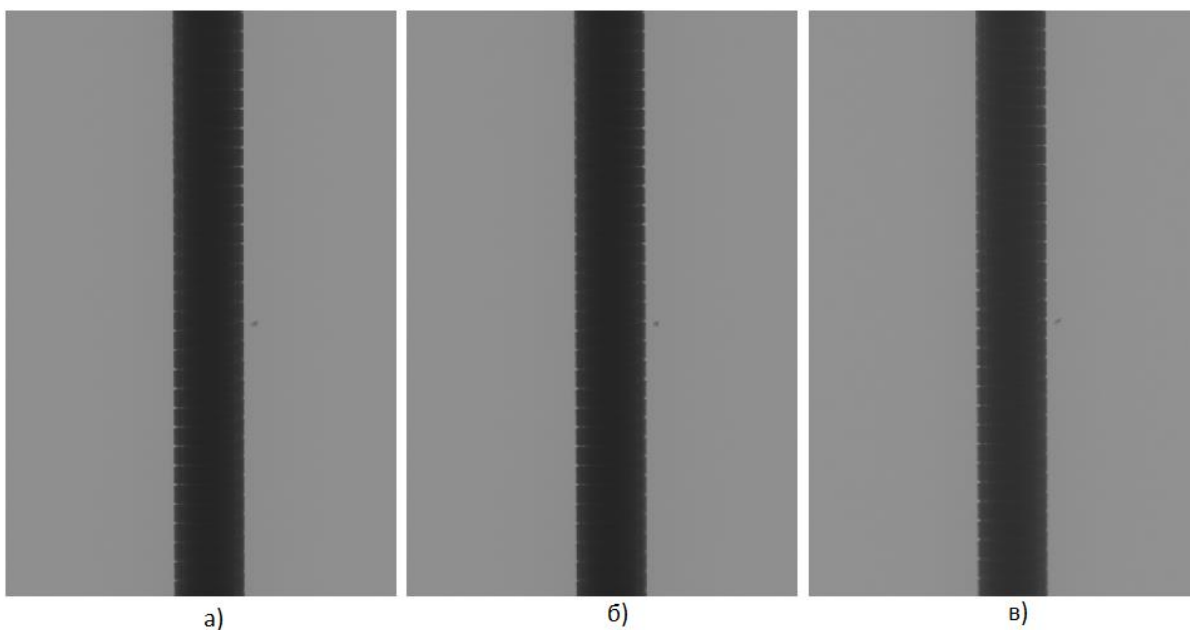


Рисунок 11 – Теневые проекции первого УП полученные при разных режимах сканирования: а) $U = 70$ кВ, б) $U = 93$ кВ, в) $U = 125$ кВ.

Одной из основных задач обработки и анализа изображений является сегментация, т.е. разделение изображения на области, для которых выполняется определенный критерий однородности, например, выделение на изображении областей приблизительно одинаковой яркости. Понятие области изображения используется для определения связной группы элементов изображения, имеющих определенный общий признак (свойство). Один из основных и простых способов — это построение сегментации с помощью порога. Порог — это признак (свойство), которое помогает разделить искомый сигнал на классы. Операция порогового разделения заключается в сопоставлении значения яркости каждого пикселя изображения с заданным значением порога.

Операция порогового разделения, которая в результате дает бинарное изображение, называется бинаризацией. Целью операции бинаризации является радикальное уменьшение количества информации, содержащейся на изображении. В процессе бинаризации исходное полутоновое изображение, имеющее некое количество уровней яркости, преобразуется в черно-белое

изображение, пиксели которого имеют только два значения – 0 и 1. Выбор порога для дальнейшей сегментации определяется по уровню яркости изображений в градации серого [16].

Для оценки уровня яркости в изображениях, полученных при разных режимах сканирования, было выбрано по 1 сечению на определенной высоте проводника. В каждом выбранном поперечном сечении был использован профиль, с помощью которого можно увидеть уровень яркости полученного реконструированного изображения (см. рис. 12-14).

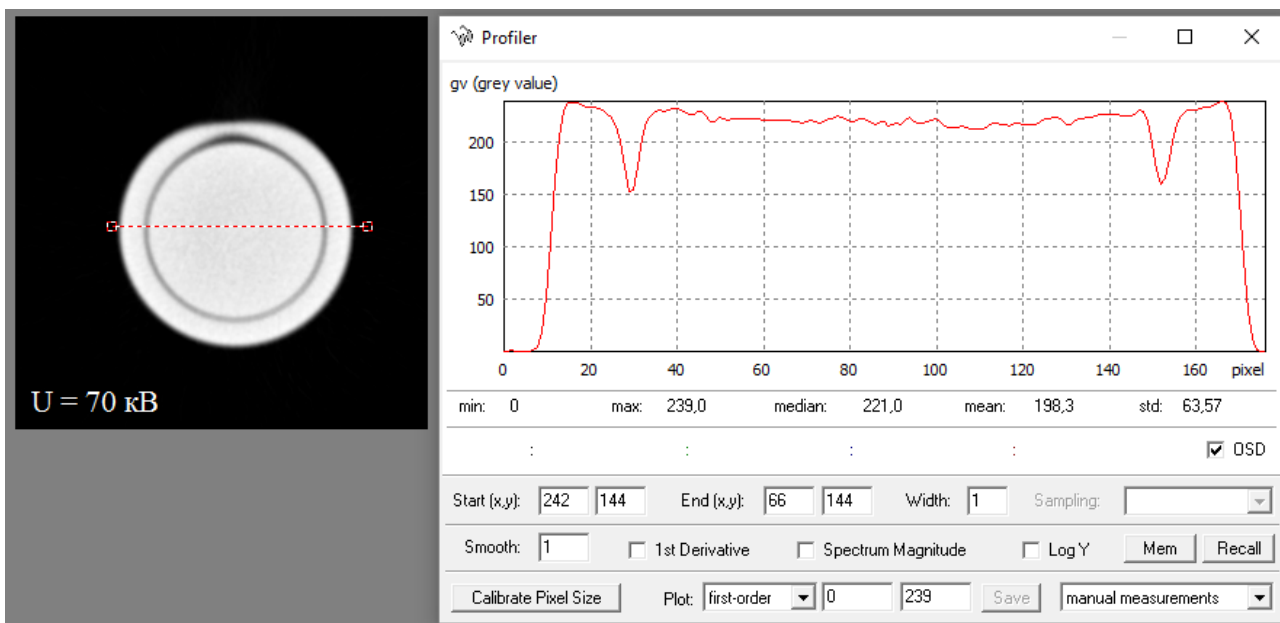


Рисунок 12 – Поперечное сечение реконструированного изображения проводника, полученного при $U = 70$ кВ.

Для более точной оценки, профиль был разделен на 3 области (см. рис. 13-15).

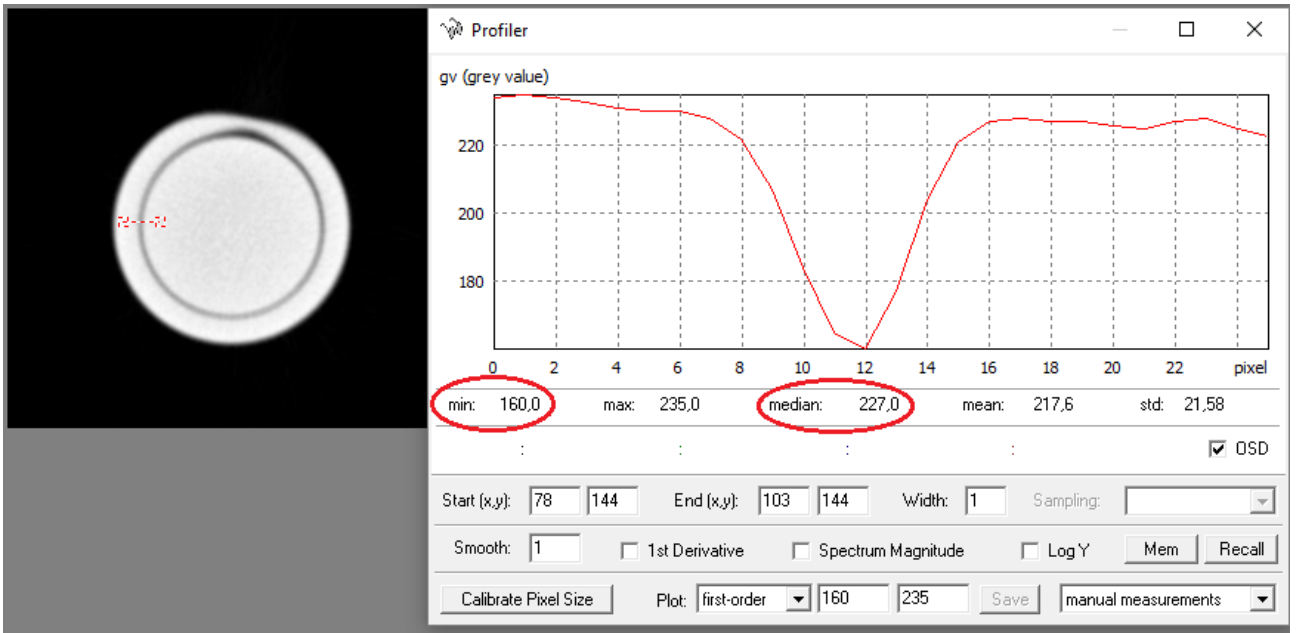


Рисунок 13 – Профиль №1 поперечного сечения проводника ($U = 70$ кВ)

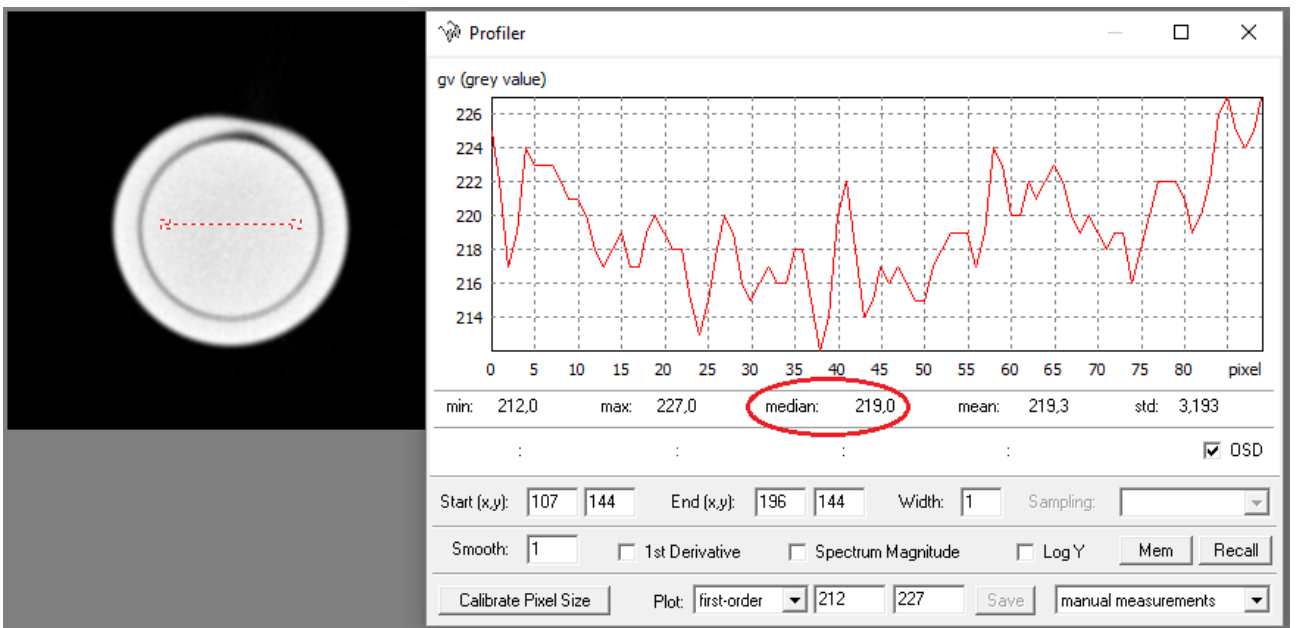


Рисунок 14 – Профиль №2 поперечного сечения проводника ($U = 70$ кВ)

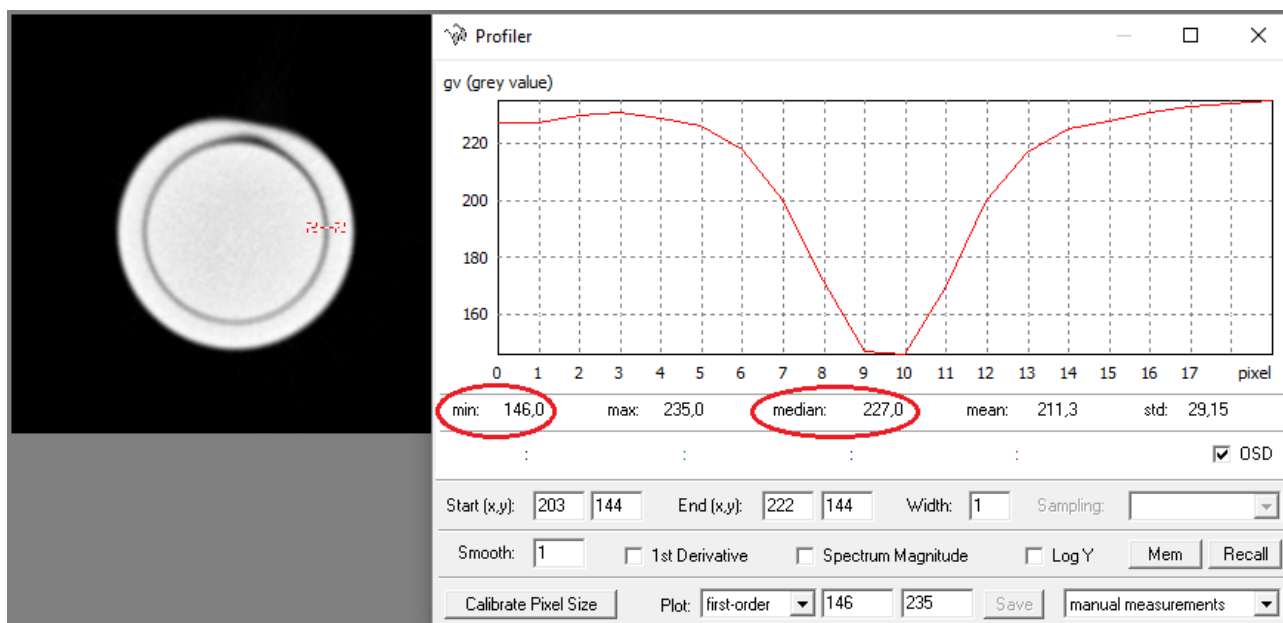


Рисунок 15 – Профиль №3 поперечного сечения проводника ($U = 70$ кВ)

По аналогии были проведены измерения для изображений полученных при $U=73$ кВ и $U=125$ кВ, полученные данные были занесены в таблицу 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Значения уровня яркости изображений по профилю №1-3.

U, кВ	1			2	3		
	$I_{\min 1, \text{gv}}$	$I_{\text{med}1, \text{gv}}$	$I_{\text{med}1} - I_{\min 1, \text{gv}}$	$I_{\text{med}2, \text{gv}}$	$I_{\min 3, \text{gv}}$	$I_{\text{med}3, \text{gv}}$	$I_{\text{med}3} - I_{\min 3, \text{gv}}$
70	160	218	58	219	146	227	81
93	148	222	74	219	141	224	83
125	136	206	70	202	132	206	74

Исходя из полученных результатов, для сегментации изображений лучше всего использовать реконструированные изображения, полученные при $U = 93$ кВ, это обусловлено наибольшим диапазоном уровня яркости. Данный диапазон, а именно разность $I_{\text{med}} - I_{\min}$, будет использоваться для порогового разделения с двойным ограничением.

Также важно было учитывать отношение «сигнал-шум», пример измерения SNR показан на рисунке 16. Для измерения была выбрана область размером 179x168 пикселей.

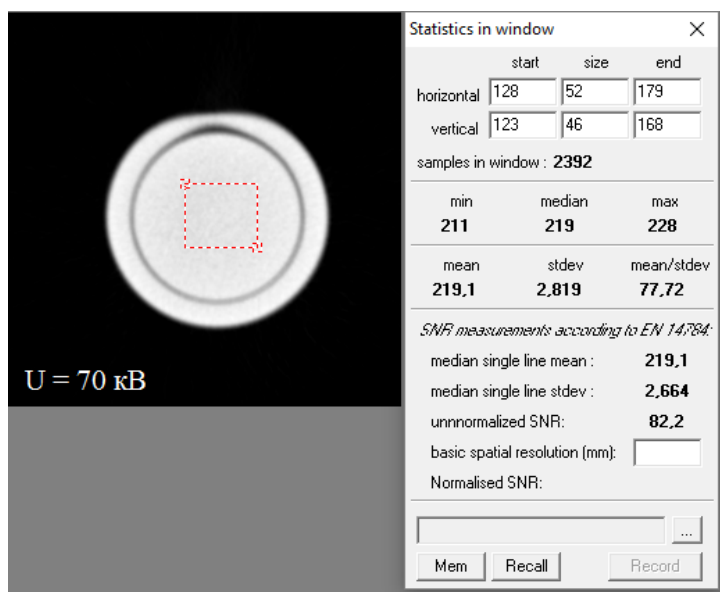


Рисунок 16 – Измерение «сигнал-шум» в поперечном сечении изображения проводника ($U = 70$ кВ).

По аналогии, были произведены измерения SNR и для других режимов сканирования, значения SNR были занесены в таблицу 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – Измерение значения «сигнал-шум» в поперечном сечении проводника.

U, кВ	70	93	125
SNR	77.72	77.06	68.99

Значение «сигнал-шум» в поперечном сечении изображения проводника примерно одинаково для режима сканирования при $U = 70$ кВ, $U = 93$ кВ и самое наименьшее значение было получено при $U = 125$ кВ.

Таким образом, исходя из всех полученных результатов, оптимальным режимом сканирования для первого проводника является:

№	U, кВ	I, мкА	v , 1/с	t, сек	N_{cp}
1 проводник	93	33	3,75	0,26	36548

3.2.2 Сегментация изображений

Для сегментации и анализа изображений, будет использоваться программное обеспечение CT-Analyser (CTAn), как описывалось в главе 2.1, в данной программе используется несколько методов сегментации, в нашем случае мы используем глобальный (Global) метод. Для выделения областей, в которых значения яркости пикселей может меняться в известном диапазоне, вводится бинаризация с двойным ограничением.

Как видно рисунке 17, первый проводник имеет неоднородную форму которую условно можно разделить на две части по вертикальной оси.

Выбор уровня для первой части проводника:

- Верхний уровень сечения: 1109;
- Нижний уровень сечения: 171.

Выбор уровня для второй части проводника:

- Верхний уровень сечения: 1298;
- Нижний уровень: 1109.

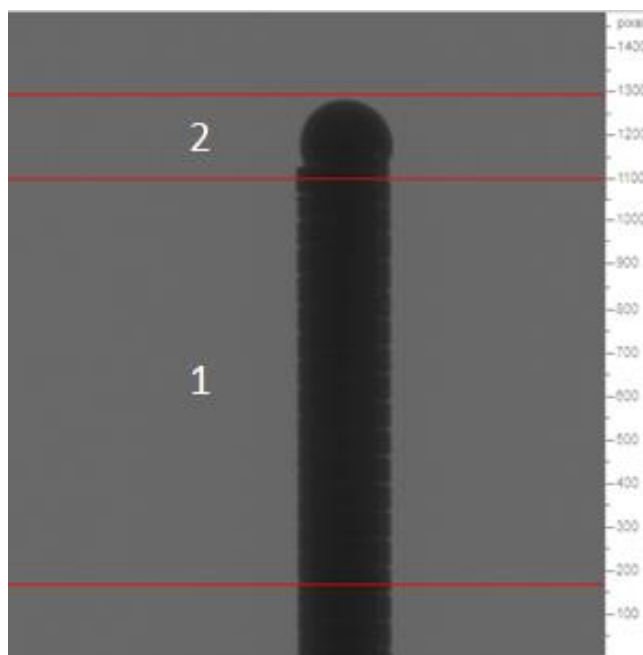


Рисунок 17 – Выбор уровня VOI для объекта.

Сегментация изображения является поэтапным процессом в ходе которого применяются различные внутри-программные плагины. Для отделения спирали от внутренней части проводника были выбраны следующие плагины:

- Threshold
- Despeckle
- Morphological operations
- Bitwise operations

Перед тем как приступить к сегментации изображений, выбрали область ROI в панели Regions of interest (см. Рисунок 18), далее перед тем как приступить к операции Threshold (пороговое разделение), в панели «Бинарные изображения» рассмотрели уровни, при значениях которых мы сможем получить различие между внутренней части от спирали. Если брать уровень от 0 – 201 большая часть внутренней структуры остается(см. Рисунок 18), Выбираем уровень от 0 – 208, как видно на рисунке 12, осталось лишь малая часть(черных пикселей), которую в дальнейшем можно убрать с помощью операции Despeckle (удаление пикселей).

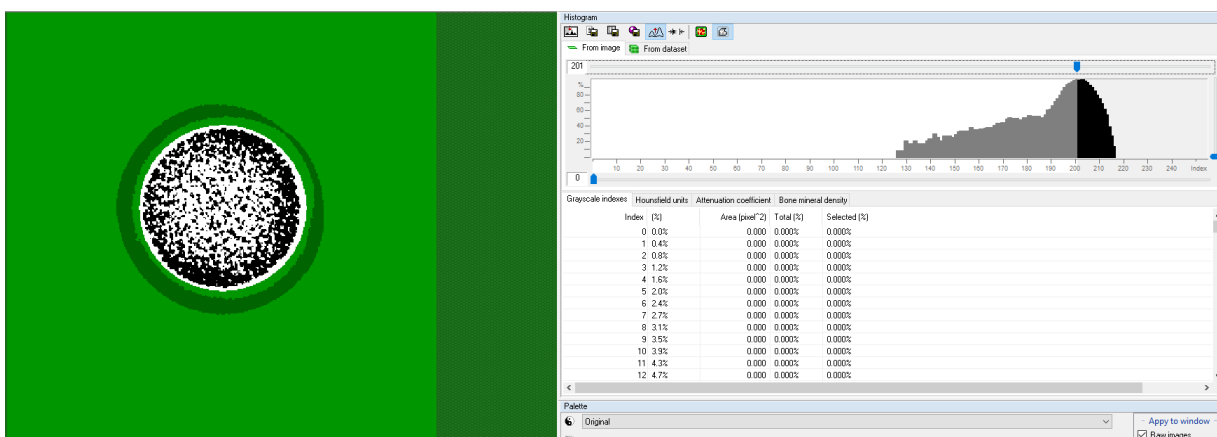


Рисунок 18 – Бинарное изображение. Уровень яркости 0-201

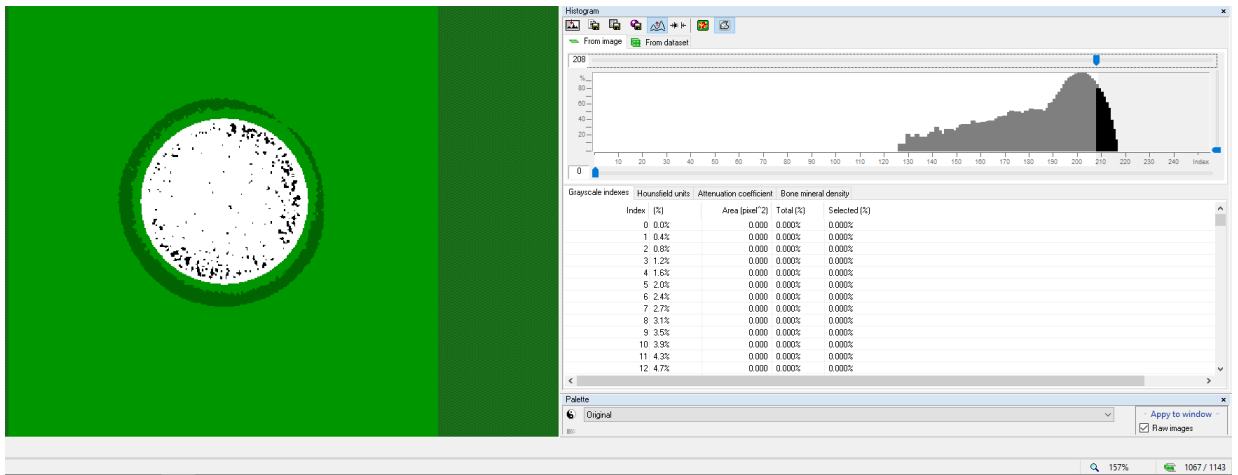


Рисунок 19 – Бинарное изображение. Уровень яркости 0-208

Применили плагин Thresholding (Global) по уровню 0-208 (см. рис. 20).

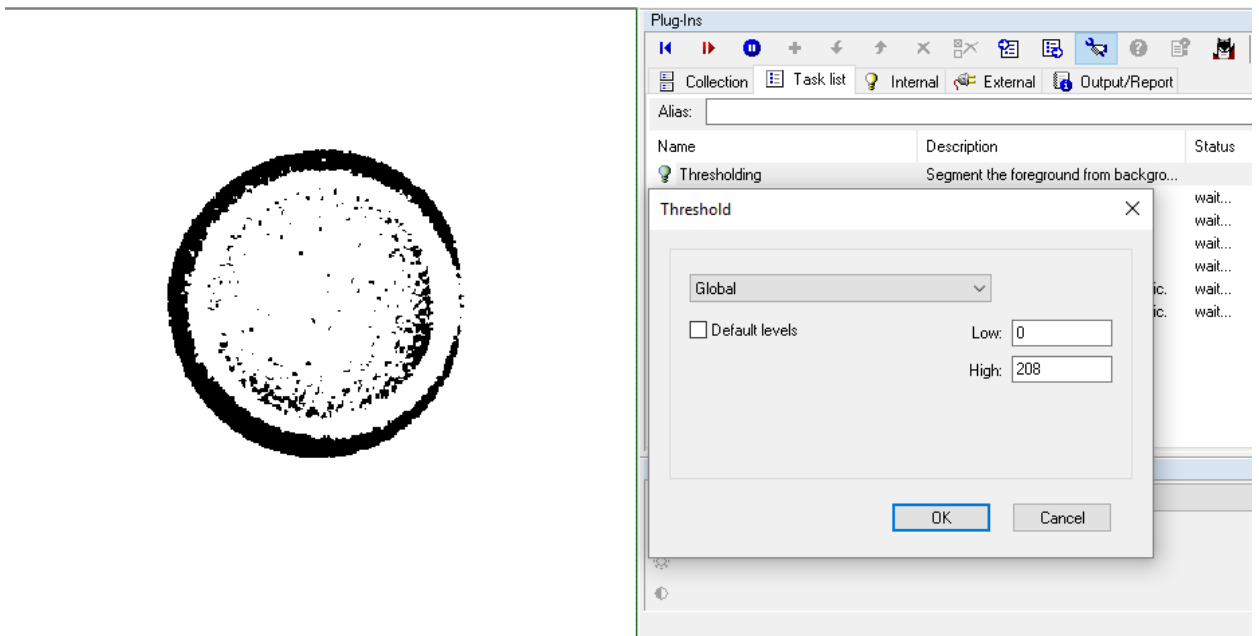


Рисунок 20 – Применение плагина Thresholding.

По полученным бинарным изображениям в результате сегментации, можно построить 3D модель спирали (см. рис. 21).

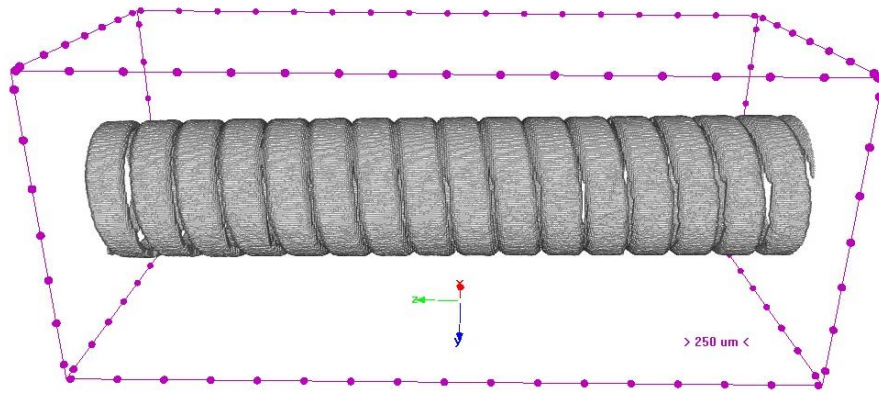


Рисунок 21 – 3D модель спирали интракоронарного проводника.

Для сегментации верхней части проводника были выбраны следующие плагины:

- Threshold
- Despeckle
- Morphological operations
- Bitwise operations
- Reload
- Arithmetical operations

После применения выше перечисленных плагинов появились пробелы, которые нужно объединить, с помощью плагина «Morphological operation». Выбирая тип «Opening» мы соединим объекты, которые находятся в непосредственной близости (см. рис. 22).

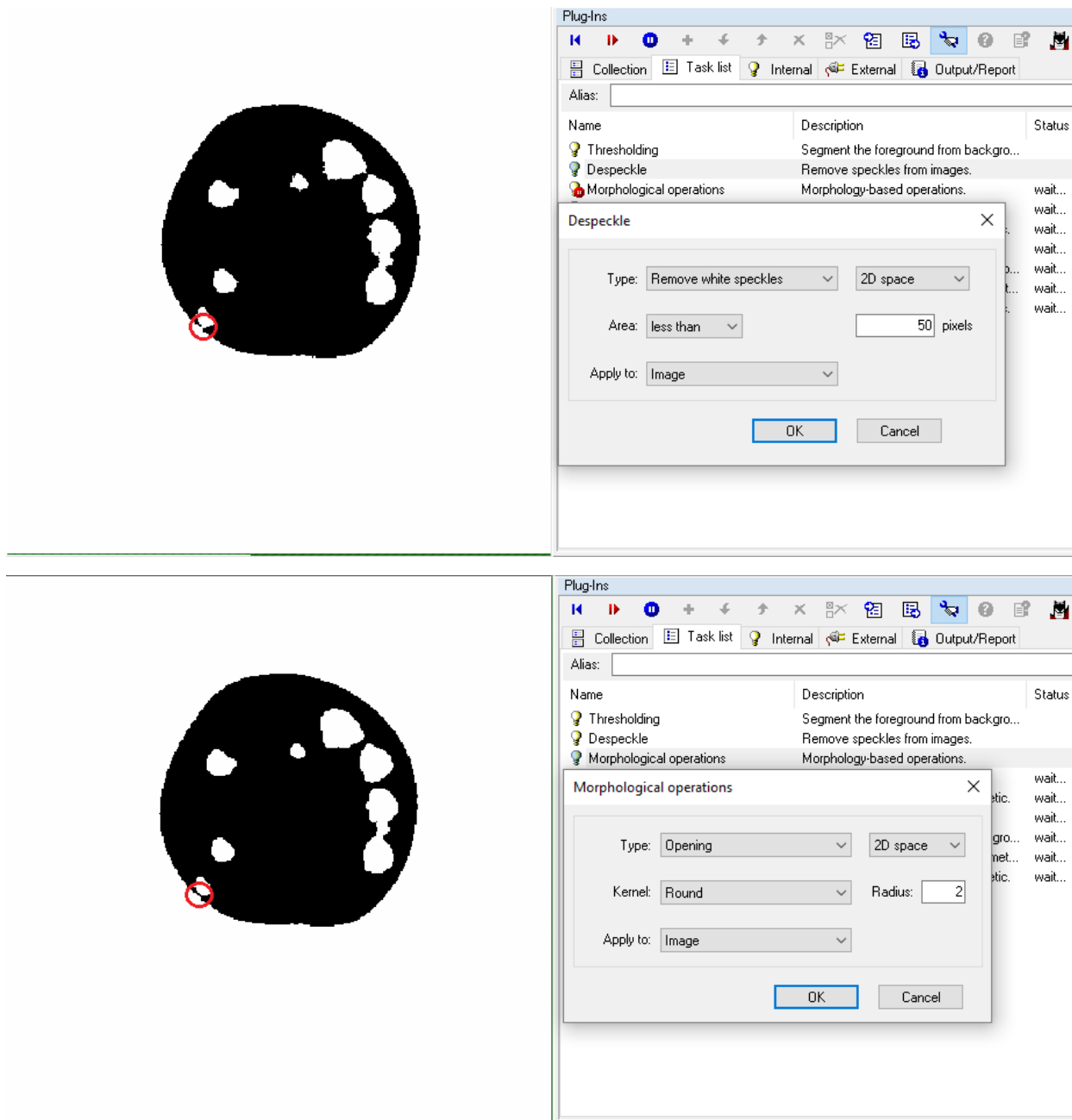


Рисунок 22 – Применение плагина Morphological operation.

Также, по полученным бинарным изображениям построили 3D модель, как видно на рисунке 23 наблюдаются объемные дефекты, называемые поры.

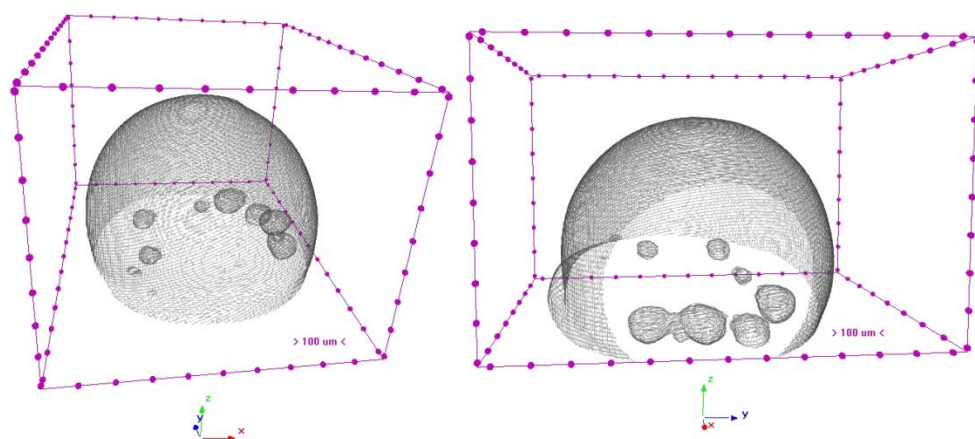


Рисунок 23 – 3D модель верхней части УП, построенная по бинарным изображениям.

Исходя из данных программное обеспечение СТ-Analyser (СТAn), позволяет вычислить 3D параметры бинарных изображений. Например имеющиеся поры, внутри УП, имеют суммарный объем $V=0,00388=3,88 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3$, количество объектов (пор) $N=8$.

Из всех полученных бинарных изображений можно получить полную 3D модель исследуемого объекта в программе СТ-Volume (см. рис. 24).



Рисунок 24 – Полная объемная 3D модель первого УП.

Для второго проводника были проделаны такие же операции, в частности были выбраны следующие плагины:

- Threshold
- Despeckle
- Morphological operations
- Bitwise operations

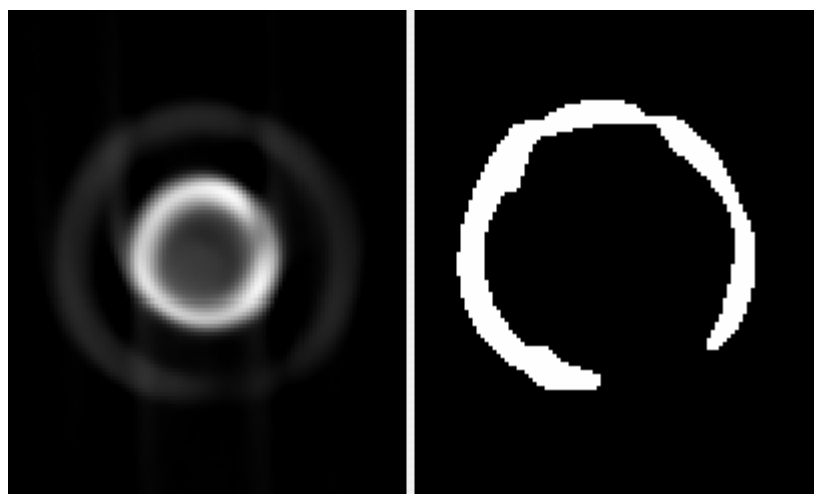


Рисунок 25 – Пример применения плагина Thresholding для выбранного поперечного сечения проводника.

В результате применения выше перечисленных плагинов, были получены бинарные изображения, с помощью которых получили 3D модели спирали и внутренней части второго проводника (см. рис. 26).

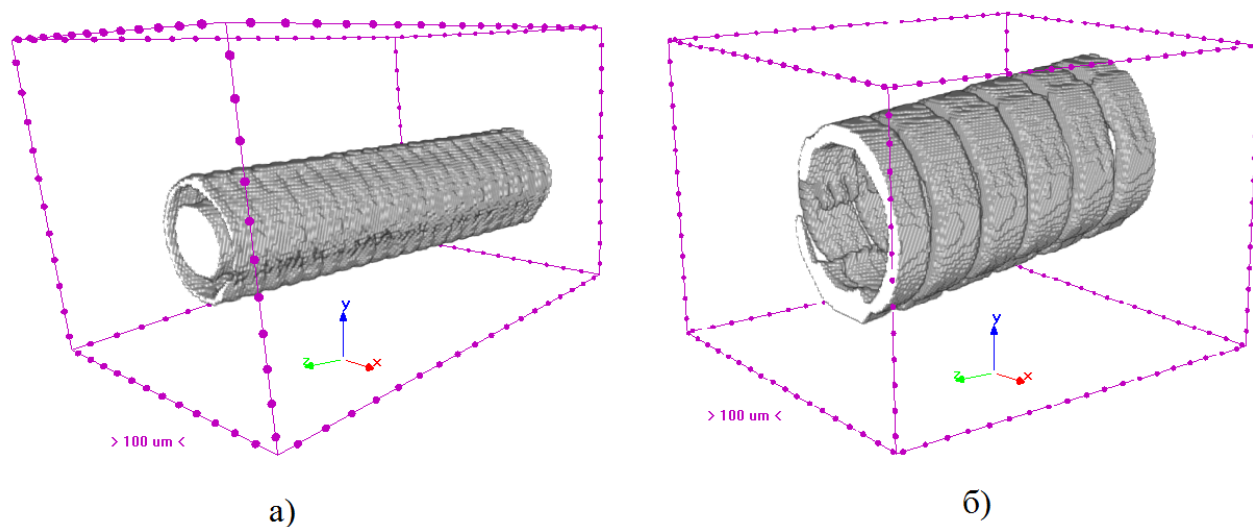


Рисунок 26 – 3D модель второго УП, построенная по бинарным изображениям:
а) внутренний стержень проводника; б) внешняя спираль проводника.

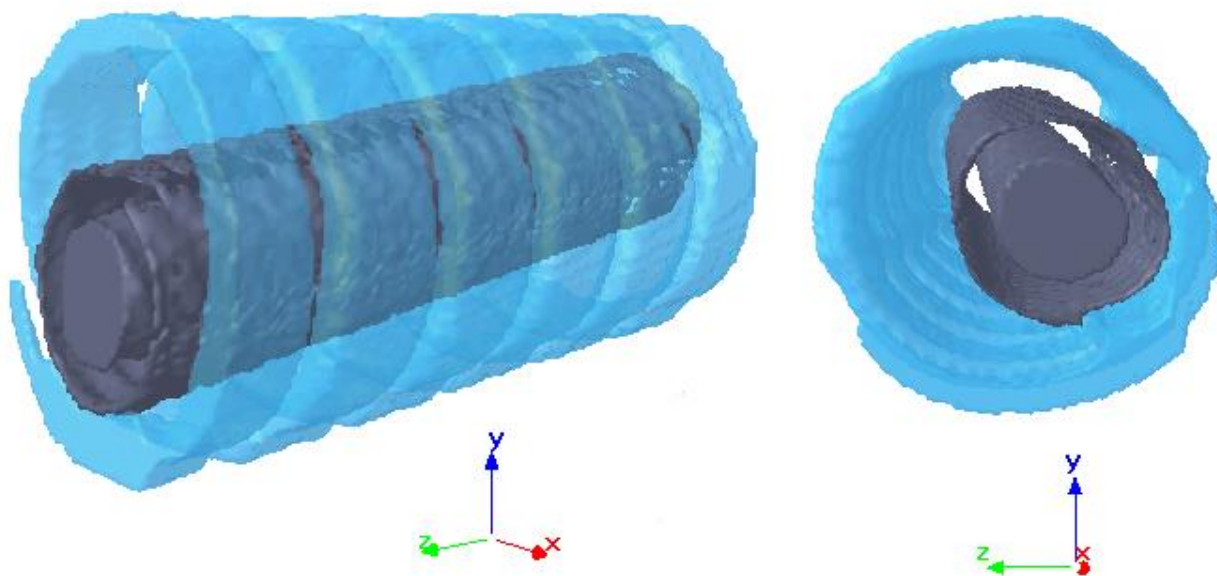


Рисунок 27 – Полная объемная 3D модель первого УП.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Объектом исследования является медицинское изделие – малоинвазивная система доставки протезов, в данную систему входят два управляемых проводника. Оба проводника выполнены из никелида титана, но отличаются своей внутренней структурой. Конструкция первого управляемого проводника представляет собой проволоку, сверху покрытую спиральной оплеткой с нанесенным снаружи покрытием. Конструкция второго управляемого проводника состоит также из спиральной оплетки с нанесенным снаружи покрытием, но внутри спирали находится тонкая проволока, сделанная из специального сплава, диаметр которой не превышает 0,5 мм. Диаметр обоих проводников не превышает 1 мм.

В работе была применена рентгеновская компьютерная томография высокого разрешения. Исследования проводились на рентгеновском микротомографе «Орел-МТ». Основная задача заключалась в получении точных цифровых проекций с высоким разрешением и наилучшей контрастностью.

В ходе исследования были выявлены следующие параметры томографического сканирования.

Для первого проводника:

- расстояние от источника до объекта – 20 мм;
- расстояние от источника до детектора – 450 мм;
- размер вокселя – 5,64 мкм;
- ускоряющее напряжение источника – 93 кВ;
- анодный ток трубки – 33 мкА;
- шаг вращения объекта – 0,3 град.;
- число проекций – 1200;
- время накопления (для 1 кадра) – 0,26 с.

Для второго проводника:

- расстояние от источника до объекта – 40 мм;
- расстояние от источника до детектора – 450 мм;
- размер вокселя – 11,29 мкм;
- ускоряющее напряжение источника – 78 кВ;
- анодный ток трубки – 31 мкА;
- шаг вращения объекта – 0,3 град.;
- число проекций – 1200;
- время накопления (для 1 кадра) – 0,66 с.

Полученные томограммы подвергались сегментации (бинаризации) для последующего количественного анализа числа и создания трехмерных моделей изделий.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

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

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 5.1 приведены основные вредные и опасные факторы производственного процесса.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с компьютером и рентгеновской установкой		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
		Пожарная безопасность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВ Ч и т.д.)		Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	Повышенный уровень ионизирующего излучения		НРБ-99/2009

На инженера, деятельность которого связана с работой на рентгеновской установке и с анализом экспериментальных данных на компьютере, воздействуют следующие факторы:

1. Физические: температура и влажность воздуха, вентиляция, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты, освещенность и ионизирующее излучение.

– Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки). Последствия физического и психического истощения организма могут повлиять, как на работоспособность человека, так и на состояние здоровья в целом.

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПВЭМ и рентгеновской установке.

5.2.1 Организационные мероприятия

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

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

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

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 27.

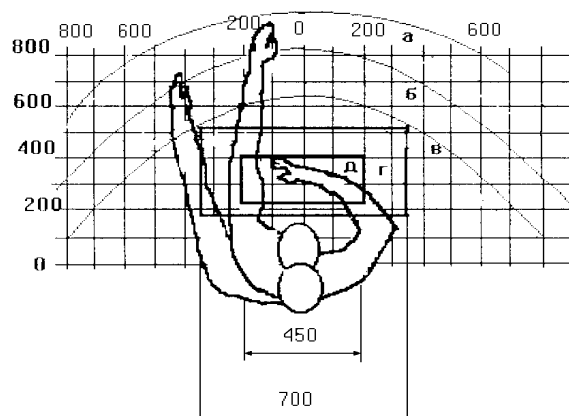


Рисунок 27 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- 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: 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 так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420–550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

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

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание

(малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасной работы

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 5.2.

Таблица 5.2 Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания [19].

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

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [17], напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на

расстоянии не менее 50 см от пользователя);

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [19] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.3 Радиационная безопасность

Экспериментальное исследование проводим на рентгеновской установке. Источником ионизирующего излучения служит рентгеновская трубка. При прохождении через биологическое вещество рентгеновское излучение взаимодействует с электронами его атомов. Возможны два вида эффектов лучевого поражения: соматические (телесные), и генетические (наследственные).

Соматические эффекты – это эффекты, которые проявляются непосредственно в органах и тканях облученного организма. Их подразделяют на ранние и отдаленные. Ранние эффекты развиваются как в период лучевого поражения, так и на протяжении нескольких недель после облучения. К таким эффектам относятся: потеря аппетита, головокружение, головная боль, тошнота, рвота, диарея и др.

Генетические эффекты рассматривают как стохастические, не имеющие порога взаимодействия. Тяжесть проявления стохастических эффектов не

зависит от дозы, но вероятность проявления возрастает с увеличением дозы. К таким эффектам относятся: возникновение различных злокачественных новообразований и в виде нарушения некоторых жизненно важных систем организма (сердечно-сосудистой, нервной, иммунной) [20].

НРБ-99/2009 [21] определяют радиационный риск как вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения. В соответствии с НРБ-99/2009 устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

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

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются два класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведенные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	персонал (группа А)**	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике	150 мЗв	15 мЗв
глаза*** коже**** кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв
Примечания:		
* – Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.		
** – Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни		

воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонал приводятся только для группы А.

*** – Относится к дозе на глубине 300 мг/см² .

**** – Относится к среднему по площади в 1 см² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см² под покровным слоем толщиной 5 мг/см² . На ладонях толщина покровного слоя – 40 мг/см². Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см² площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Студенты и учащиеся старше 16 лет, проходящие профессиональное обучение с использованием рентгеновской установки, относятся к группе Б, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Если сравнивать основные пределы доз по НРБ-99/2009 с фоновым облучением (с учетом техногенного фона), то у персонала группы Б в пределах флуктуаций совпадает с уровнем фонового облучения.

Защита персонала от рассеянного рентгеновского излучения в соответствии с нормативами [21], обеспечивается конструкцией радиационной защиты – боксом, выполненный из стали. В боксе располагается экспериментальная рентгеновская трубка. Перед проведением эксперимента инженер обязан закрыть дверь бокса и убедиться, что все необходимые условия безопасности выполнены. Работа рентгеновского аппарата сопровождается звуковым сигналом.

Для оценки дозы полученной во время работы используется индивидуальные дозиметры. При работе с индивидуальными дозиметрами необходимо соблюдать следующие правила:

- дозиметр должен носиться персоналом в течение всего рабочего дня в строго указанном на теле месте;

- категорически запрещается передавать индивидуальные дозиметры другим лицам или оставлять их где-либо в течении рабочего дня;
- после окончания работы дозиметры должны находиться в помещениях, в которых нету источников ионизирующего излучения;
- запрещается вскрывать индивидуальный дозиметр, а также подвергать его умышленному воздействию ионизирующего излучения, повышения температуры, влаги и агрессивных сред;
- каждый сотрудник, получающий индивидуальный дозиметр, инструктируется о правилах его ношения.

5.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими устройствами в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования [22].

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

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

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [23], 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 разделяются 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:

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

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Предпроектный анализ

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

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Экономическая эффективность/значимость работы: возможность с минимальными временными и финансовыми затратами получить адекватную объемную модель внешней и внутренней структуры реального многокомпонентного изделия, пригодную для количественного анализа.

Потенциальные потребители данной разработки являются производители точных и высококласных медицинских изделий, с помощью которых будут проводиться современные хирургические операции.

6.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.2.1 Технология QuaD

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих показателей оценки качества разработки:

- перспективность рынка;
- динамический диапазон;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- финансовая эффективность;
- влияние использования разработки на результат деятельности компании;
- уникальность разработки;
- уровень материалоемкости разработки и др.

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

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 6.2.1.

Таблица 6.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	0,20	80	100	0,80	16,00
2. Энергоэффективность	0,05	75	100	0,75	3,75
3. Уникальность	0,20	80	100	0,80	16,00
4. Качество интерфейса	0,10	70	100	0,70	7,00
5. Конкурентоспособность продукта	0,05	65	100	0,65	3,25
6. Безопасность	0,05	65	100	0,65	3,25
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Простота эксплуатации	0,05	60	100	0,60	3,00
8. Предоставляемые возможности	0,10	80	100	0,80	8,00
9. Финансовая эффективность научной разработки	0,20	40	100	0,40	6,00
Итого	1,00				66,25

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле[24]:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (7.1)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

$$P_{cp} = 66,25$$

Рассчитанное значение P_{cp} позволяет говорить, что перспективность разработки выше среднего.

6.2.2 SWOT-анализ

Результаты SWOT-анализа представлены в табличной форме (7.2.2).

Проведенный анализ позволяет утверждать, что при модернизации разработки, в частности стандартизации необходимых инструментов, спрос на данную разработку будет расти, а вместе с ним и возможность продажи. Разработанный метод имеет высокие конкурентоспособные характеристики, такие как возможность количественной оценки информативности изображений, получаемых системой, возможность использования в нескольких областях науки.

Таблица 6.2.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	S1. Уникальность разработки.	Сл1. Относительно длительное время
	S2. Низкая себестоимость	применения
	S3. Понятный интерфейс.	разработки для
	S4. Наличие бюджетного финансирования.	получения результатов.
	S5. Многофункциональность	Сл2. Отсутствие у
		потенциальных потребителей

	<p>разработки. С6. Квалифицированный персонал.</p>	<p>квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл3. Потенциальная необходимость периодической модернизации Сл4. Большое количество потенциальных источников погрешностей Сл5. Отсутствие у потенциальных потребителей необходимых инструментов для работы с научной разработкой.</p>
<p>Возможности: В1. Использование установки в новых областях. В2. Использование инфраструктуры Томской Международной Лаборатории неразрушающего контроля. В3. Появления дополнительного спроса на новый продукт. В4. Поиск стандартных инструментов для применения разработки В5. Модернизации разработки (метода).</p>	<p>В1,В2-С1,С2. За счет универсальности разработки возможно дальнейшее использование в медицине, дефектоскопии, метрологии. В5-С4. За счет бюджетного финансирования возможно производить модернизацию установки.</p>	<p>В4-Сл5. За счет стандартизации инструментов, необходимых для применения разработки, возможно снижение времени выполнения операций и повышение доступности метода. В5-Сл4. Модернизация разработки позволит снизить количество потенциальных источников погрешностей.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствия спроса на научную</p>	<p>У2-С1. Разработка позволяет объективно количественно оценить</p>	<p>У1-Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей</p>

<p>разработку. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>возможности системы с точки зрения качества изображения, что невозможно с помощью большинства конкурентных решений. У1-С5 Разработка может использоваться в различных отраслях науки, многофункциональность может обеспечить спрос хотя бы в одной области.</p>	<p>квалифицированного персонала может являться причиной отсутствия спроса на научную разработку. У2-Сл1,Сл3 Требуемое длительное время для проведения экспериментов, и необходимость модернизации разработки могут сделать конкурентные теоретические методы более приоритетными.</p>
---	---	---

Данные в приложении результаты необходимо использовать при разработке структуры работ, а так же учитывать все перечисленные факторы при дальнейшем развитии данного проекта.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение

исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 6.3.1

Таблица 6.3.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение техники безопасности при работе	Инженер
	6	Подготовка оборудования для проведения экспериментов	Руководитель, инженер
	7	Проведение экспериментов	Руководитель, инженер
	8	Повторное проведение экспериментов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ полученных результатов	Инженер
Сравнение полученных результатов	10	Модернизация метода с учетом полученных результатов	Руководитель, инженер
	11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями и предыдущими опытами	Руководитель, инженер
Оформление отчета по ВКР	12	Составление пояснительной записки	Инженер

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (7.1)$$

где:

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

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

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

К примеру, для первого этапа выполнения ВКР по формуле (7.1) расчет ожидаемого значения трудоемкости имеет вид:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. -дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (7.2)$$

где:

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [24].

К примеру, для первого этапа выполнения ВКР по формуле (7.2) расчет продолжительности работы имеет вид:

$$T_{p1} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ раб. дн.}$$

Результаты расчетов трудоёмкости и продолжительности одной работы сведены в таблицу 6.3.2.

Таблица 6.3.2 – Расчеты трудоёмкости и продолжительности одной работы

№	$t_{ожi}$, чел. –дни	$Ч_i$, чел.	T_{pi} , дни
1	1,8	1	1,8
2	2,4	1	2,4
3	1,4	2	0,7
4	1,4	1	1,4
5	1,4	1	1,4
6	5	2	2,5
7	10	2	5
8	6,4	1	6,4
9	1,8	1	1,8
10	5,2	2	2,6
11	3,6	2	1,8
12	10	1	10

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

ВКР представляет собой научную тему сравнительно небольшую по объему. В этом случае наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграмм Ганга.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (7.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году [25].

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

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

На основе таблицы 6.3.3.1 построим календарный план-график и приведем его в таблице 6.3.3.2.

Таблица 6.3.3.1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{оэи}$, чел-дни		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2				
Составление и утверждение технического задания	1		3		1,8		1,8		2	
Подбор и изучение материалов по теме		2		3		2,4		2,4		3
Выбор направления исследований	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1
Календарное планирование работ по теме		1		2		1,4		1,4		2
Изучение техники безопасности при работе		1		2		1,4		1,4		2
Подготовка оборудования для проведения экспериментов	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	1	1
Проведение экспериментов	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	2	2
Повторные эксперименты после модернизации метода		2		3		2,4		2,4		3
Анализ полученных результатов		2		3		1,8		1,8		3
Модернизация	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	2	2

метода с учетом полученных результатов										
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями и предыдущими опытами	4	4	6	6	4,8	4,8	2,4	2,4	4	3
Составление пояснительной записки		8		13		10		10		12

Таблица 6.3.3.2 – Календарный план-график проведения НИВКР по теме

№ работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Март		Апрель			Май			Июнь	
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Руководитель	2	■									
2	Инженер	3		■								
3	Руководитель, инженер	1		■								
4	Инженер	2		■								
5	Руководитель, инженер	2		■								
6	Руководитель, инженер	1			■							
7	Руководитель, инженер	2			■							
8	Инженер	3				■						
9	Инженер	3						■				
10	Руководитель, инженер	2						■				
11	Руководитель, инженер	3							■			
12	Инженер	12								■		

6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- 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.

6.3.4.1 Расчет затрат на электроэнергию

В ходе выполнения ВКР не было приобретено дополнительных материалов. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}}, \quad (7.5)$$

где:

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

При выполнении работы использовались оборудование приведенное в таблице 6.3.4.1

Таблица 6.3.4.1 – Приборы, используемые при работе

№	Прибор	P, кВт	F _{об} , ч
1	Рентгеновский аппарат	18	20
2	Детектор	0,3	20
3	Привод	0,03	20
4	Дозиметр	0,008	5
5	Ноутбук	0,09	300

$$E_1 = P \cdot F_{об} = 18 \cdot 20 = 360 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$E_2 = 6 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$E_3 = 0,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$E_4 = 0,04 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$E_5 = 27 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость потраченной энергии:

$$C = 5,8 \cdot (360 + 6 + 0,6 + 0,04 + 27) = 5,8 \cdot 393,64 = 2288,9 \text{ руб.}$$

6.3.4.2 Расчет материальных затрат на специальное оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования учтены затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования сводятся в табл. 6.3.4.2.

Таблица 6.3.4.2 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Штатив	1	400	400
2.	Проволока вольфрамовая	1	170	170
3.	Шарик стальной	1	6	6
Итого:				576

6.3.4.3 Расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования учтены затраты по его доставке в размере 15% от его цены.

Для данной исследовательской работы не было приобретено дополнительных материалов. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

К спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относятся:

- рентгеновский аппарат;
- детектор матричный;
- привод поворотный;
- привод линейный;

стоимость которых составляет 6,5 млн. рублей, назначенный срок службы – 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (7.6)$$

где:

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

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (6500000 / 1825) = 3562 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 21 дня, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт}}(\text{общ}) = 3562 \cdot 0,83 = 2956,46 \text{ руб.}$$

6.3.4.4 Расчет заработной платы сотрудников

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (7.8)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 6.3.3.1);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (7.9)$$

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. (табл. 6.3.4.4.1).

Таблица 6.3.4.4.1 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	4	4
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб. [26];

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{tc});

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

k_{cm} – ставка заработной платы.

Тарифная заработная плата Z_{tc} находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_T и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 6.3.4.4.2.

Таблица 6.3.4.4.2 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$k_{см}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	12524	0,3	0,3	1,3	1	26049,92	1101,3	18,3	20148,3
Инженер	9893	-	-	1,3	0,25	3215,26	135,4	29,2	3953,7
Итого $Z_{осн}$									

Ниже приведены расчеты основной заработной платы:

$$Z_{м \text{ рук}} = 12524 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 \cdot 1 = 26049,92 \text{ руб}$$

$$Z_{м \text{ инж}} = 653 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 424,45 \text{ руб}$$

$$Z_{дн \text{ рук}} = \frac{1358,24 \cdot 10,4}{247} = 1101,3 \text{ руб}$$

$$Z_{дн \text{ инж}} = \frac{424,45 \cdot 10,4}{247} = 17,87 \text{ руб}$$

$$Z_{осн \text{ рук}} = 1101,3 \cdot 18,3 = 20148,3 \text{ руб}$$

$$Z_{осн \text{ инж}} = 57,42 \cdot 29,2 = 3953,7 \text{ руб}$$

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

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

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

3) иные выплаты; районный коэффициент [27].

6.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [29]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (7.10)$$

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

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

$$Z_{\text{внеб рук}} = 0,271 \cdot (20148,3) = 5460,2 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{внеб инж}} = 0,271 \cdot (3953,7) = 1071,5 \text{ руб}$$

Таблица 6.3.4.6.1 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Величина отчислений во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель проекта	20148,3	5460,2
Инженер	3953,7	1071,5

6.3.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (7.11)$$

где: $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (2288,9 + 576 + 2956,5 + 20148,3 + 3953,7 + 5460,2 + 1071,5) \cdot 0,16 \\ &= 5832,8 \text{ руб} \end{aligned}$$

6.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 6.3.4.7.1.

Таблица 6.3.4.7.1 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Затраты на электроэнергию	2289		Пункт 6.3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	576		Пункт 6.3.4.2
3. Затраты на амортизацию оборудования для научных (экспериментальных) работ	2957		Пункт 6.3.4.3
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	20148	3953	Пункт 6.3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	5460	1071	Пункт 6.3.4.6
6. Накладные расходы	5833		16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	42288		Сумма ст. 1- 6

Таким образом, метод, разработанный в данной работе является перспективным для дальнейшего исследования и ввода в продажу. Разработка считается конкурентоспособной и будет иметь спрос на рынке. Так же разработка и проведение работы укладывается во временной график и общий бюджет затрат исследования равен 42288 руб.

6.4 Определение ресурсной экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (7.12)$$

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

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

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

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

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{43000}{52000} = 0,82;$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_a}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{52000}{52000} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (7.13)$$

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 6.4.1).

Таблица 6.4.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4
3. Помехоустойчивость	0,25	4	3
4. Энергосбережение	0,1	5	4
5. Надежность	0,20	5	4
6. Материалоемкость	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,6	3,75

$$I_p = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 = 4,6;$$

$$I_A = 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 = 3,75;$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,6}{0,93} = 4,95; \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,75}{1} = 3,75 \quad (7.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 6.4.2) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (7.15)$$

Таблица 6.4.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,82	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	4,95	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,22

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

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

Таким образом, итоговая себестоимость НИР составила 42288 руб., время, необходимое для выполнения работы, составило 36 календарных дня.

Заключение

Рентгеновская компьютерная томография занимает одно из лидирующих мест по исследованию внутренней структуры объектов. В данной исследовательской работе мы представили процесс получения томографических данных, обработку и анализ изображений на примере двух управляемых проводников, которые являются частью системы доставки, а сама система используется в хирургических операциях по замене аортального клапана в сердце. Результаты были получены на микротомографе «Орел-МТ». Особое внимание было уделено процессу получения томографических снимков и сегментации изображений. Были определены наилучшие режимы сканирования для каждого проводника. Томографические данные были подвергнуты многоэтапной сегментации для получения бинаризованных изображений.

Дополнительно были получены модели проводников, в которых внутренняя и внешняя части разделены, а полученные дефекты при сварном соединении представлены как самостоятельным объектом.

В заключение можно сказать, что рентгеновская томография позволяет качественно и количественно проводить исследования медицинских изделий небольших размеров и сложной формы. К тому же, создание цифровых моделей реальных объектов по томографическим данным открывает широкие возможности по исследованию поведения объектов, если использовать современные методы физического моделирования методом конечных элементов.

Успешное исследование такого сложного объекта как управляемый проводник, позволяет надеяться, что данный подход применим для количественного анализа пористых и неомогенных материалов, например, композитов.

Список используемых источников

1. Корпоративный портал ТПУ - МНОЛ неразрушающего контроля. URL:
<http://portal.tpu.ru/departments/laboratory/mnol-nk>
2. X-RAY WorX Datasheet Microfocus Tubes Types XWT-160/190/225-TC and XWT-100-TCHR URL:<http://www.shieldalloys.com/xrayworks-03.pdf>
3. Varian Medical Systems Detector PaxScan-2520V.
URL:<https://apps.varian.com/media/xray/products/pdf/ps2520xi-v.pdf>
4. Stock S. R. MicroComputed tomography: methodology and applications. – CRC press, 2008.
5. ООО «Предприятие Остек» [Электронный доступ]. URL:
<http://www.ostec-x-ray.ru/technology/3d/>
6. Общий курс компьютерной томографии Филонин О. В. Самара, Самарский научный центр РАН, 2012 г.
7. Батрагин А. В. Разработка переносных рентгеновских томографов высокого разрешения. Диссертация. – ТПУ, 2015., г.
8. Введение в рентгенографию катализаторов. Плясова Л.М. Новосибирск, Институт катализа имю Г.К. Борескова, 2010 г.
9. Рентгенотехника. Цифровая рентгенология и рентгеновская компьютерная томография. учебное пособие. Часть 2 / С.В. Барин, А.Г. Кузьмин. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 60 с.
10. Ядерная физика и её приложения Рыжакова Н.К. 2-е изд. – Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2011. - 270 с.
11. ПО «Diada» ТПУ, Лаборатория №40 (Технической томографии и интроскопии) » [Электронный доступ]
URL:[http://portal.tpu.ru:7777/departments/laboratory/tti/products/software/Diada%204.8\(rus\).doc](http://portal.tpu.ru:7777/departments/laboratory/tti/products/software/Diada%204.8(rus).doc)
12. Bruker microCT URL:<http://bruker-icroct.com/next/NReconUserGuide.pdf>
13. Bruker microCT URL:http://bruker-icroct.com/next/CTan_UserManual.pdf
14. Bruker microCT URL:http://bruker-croct.com/next/CTVol1_UserManual.pdf

15. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения: Справочное пособие. Серия 28. Выпуск 4 / Колл.авт. - М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003.
16. Pettersson J. Knutsson H. Borga M. Proceedings of the 18th international conference on pattern recognition / Ed. by A. Bovik. — Automatic hip bone segmentation using non-rigid registration : HongKong, China. Piscataway, 2006.
17. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
19. Кодекс законов о труде Российской Федерации (КЗоТ РФ). Глава X: Охрана труда. Статья 139: Обеспечение здоровых и безопасных условий труда.
20. В.И. Беспалов Лекции по радиационной защите 4-е изд. – Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2012..
21. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) СП 2.6.1.2523-09, 2009 г.
22. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1). ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1979.
23. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
24. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
25. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.

26. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
27. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
28. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] <http://humeur.ru/>.
29. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
30. Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»