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

Институт неразрушающего контроля Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение Кафедра физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Разработка методики выполнения операций томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon»

УДК 620.179.152.1:004.93

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БЗА	Волчкова Анастасия Валентиновна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий эксперт	Капранов Борис	Д.Т.Н.,		
кафедры ФМПК	Иванович	профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1 2	1 1 1	± ±	1 21 1	
Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
		звание		
Ассистент	Грахова Елена			
	Александровна			
H 0				

По разделу «Социальная ответственность»

1 1 2				
Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
		звание		
Доцент	Анищенко Юлия	К.Т.Н.		
	Владимировна			

допустить к защите:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
		звание		
Физических методов и	Суржиков Анатолий	Доктор физ		
приборов контроля	Петрович	мат. наук,		
качества		профессор		

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Кол	Результат обучения	Требование ФГОС ВПО
резуль-	(выпускник должен быть готов)	критериев и/или
резуль	(BBIII) CRIMIC DOMACH (BBIIB 1010B)	230UTEDECODAUULIX CTODOU
1414	Профассиональные комратации	заинтересованных сторон
D1	Применати современные бозовна и спенноти и с	The formula $\Phi \Gamma \cap C (\cap \Pi V 1 2)$
11	применять современные оазовые и специальные	$3 4 6 7 8 10^{\circ} \text{ OK } 3 0^{\circ}$
	сстественнонаучные, математические и инженерные знания для	5, 4, 0, 7, 8, 10, 0 M-3, $5, 7, 8, 0, 11, 12, 12$
	разраоотки, производства, отладки, настроики и аттестации средств	11R-2, 4, 5, 0, 7, 6, 9, 11.12, 15,
	приобростроения с использованием существующих и новых	14, 13, 10,17, 18), $V_{\text{purpopulit}} 5 \text{ MOD} (= 1, 1, 1, 2)$
	технологии, и учитывать в своей деятельности экономические,	критерии 5 Айор (п.т.т, т.5),
	экологические аспекты и вопросы энергосоережения	согласованный с
		треоованиями
		международных стандартов
D0	T	
P2	участвовать в технологическои подготовке производства,	Греоования Ψ ГОС (ОК-3,
	подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в	OIIK-7; IIK-8,9,10, 11, 12, 13-
	производство, предварительно оценив экономическую	18) K
	эффективность техпроцессов; принимать организационно-	Критерии 5 АИОР (п.1.4, 1.5,
	управленческие решения на основе экономического анализа	1.6), согласованный с
		треоованиями
		международных стандартов
D2		
P3	Эксплуатировать и оослуживать современные средств измерения и	$O\Pi V 2 \cdot \Pi \Pi V 14 15 16$
	контроля на производстве, обеспечивать поверку приобров и	$V_{\text{DUTOPUT}} 5 \text{ AUOD} (\pm 1.5)$
	прочее метрологическое сопровождение всех процессов	критерии 5 Аног (п.1.5),
	производства и эксплуатации средств измерения и контроля,	требороннями
	осуществлять технический контроль производства, включая	преоованиями
	внедрение систем менеджмента качества	EURACE и FEANI
P4	Использовать творнеский полуод для разработки новых	Треборания ФГОС
1.	оригинальных илей проектирования и произволства при решении	(OK-3 OK-6 OHK-2 34 5 6)
	конкретных залач приборостроительного производства с	(off 5,01 c, 011 2, 5, 1, 5, 0, 7 8 9 ПК-1 2, 9 14)
	использованием передовых технологий: критически оценивать	Критерий 5 АИОР (п 1 2)
	полученные теоретические и экспериментальные ланные и лелать	согласованный с
	выволы: использовать основы изобретательства, правовые основы в	требованиями
	области интеллектуальной собственности	межлунаролных станлартов
		EUR-ACE и FEANI
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и	Требования ФГОС
	экспериментальные исследования по своему профилю с	(ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6;
	использованием новейших достижения науки и техники,	ПК-1,2,3,4).
	передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний,	Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4),
	соответствующей выполняемой работе	согласованный с
		требованиями
		международных стандартов
		EUR-ACE и FEANI
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-
	практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и	6,8,14,17),
	изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности;	Критерий 5 АИОР (п.2.1),
	уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам,	согласованный с
	консультировать по вопросам проектирования	требованиями
	конкурентоспособной продукции	международных стандартов
	V	EUR-ACE и FEANI
D7	Универсальные компетенции	Trafanaura AFOC (OV 7)
r/	понимать неооходимость и уметь самостоятельно учиться и	треоования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (т. 2.6)
	повышать квалификацию в течение всего периода	критерии 3 АНОГ (II.2.0),
	профессиональной деятельности	треборониями
		преобраниями
		EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения	Требование ФГОС ВПО,
резуль-	(выпускник должен быть готов)	критериев и/или
тата		заинтересованных сторон
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по	Требования ФГОС (ОК-6,
	междисциплинарной тематике, а также руководить командой,	ПК-17),
	демонстрировать ответственность за результаты работы	Критерий 5 АИОР (п.2.3),
		согласованный с
		требованиями
		международных стандартов
		EUR-ACE и FEANI
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в	Требования ФГОС (ОК-5,
	интернациональной среде, разрабатывать документацию,	ОПК-2),
	презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Критерий 5 АИОР (п.2.2),
		согласованный с
		требованиями
		международных стандартов
		EUR-ACE и FEANI
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения,	Требования ФГОС
	юридических и исторических аспектах, а так же различных	(ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9)
	влияниях инженерных решений на социальную и окружающую	Критерий 5 АИОР (п.2.5),
	среду	согласованный с
		требованиями
		международных стандартов
		EUR-ACE и FEANI
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и	Требования ФГОС (ОК-4),
	нормам инженерной деятельности	Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4),
		согласованный с
		требованиями
		международных стандартов
		EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт неразрушающего контроля Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

Суржиков А.П. (Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1БЗА	Волчковой Анастасии Валентиновне

Тема работы:

Разработка методики выполнения операций томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Утверждена	приказом	директора	(дата,	номер)
---	------------	----------	-----------	--------	--------

От 30.11.2016 №10278/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект контроля – цилиндрическое изделие
Исходные данные к работе (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.).	Объект контроля – цилиндрическое изделие диаметром 60 см. Тест-объект – цилиндрическое изделие диаметром 60 см с расположенными в сечении отверстиями с произвольно задаваемыми размерами и координатами расположения. Диапазон углов сбора проекционных данных – 360 градусов. Шаг сканирования – 1 градус.
	Программный пакет для реконструкции – «N- Recon».

Перечень подлежащих исследова	нию, Аналитический обзор по литературным
проектированию и разработке	источникам с целью выяснения достижений
вопросов	мировой науки техники в рассматриваемой
(аналитический обзор по литературным источникал целью выяснения достижений мировой науки техник рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирован конструирования; обсуждение результатов выполне работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	области; постановка задачи исследования; моделирование процесса томографического сканирования цилиндрического объекта; этапы компьютерной томографии, описание программы сбора данный uCT, описание программы N-Recon; методика выполнения операций томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon».
Перечень графического материал	а Графические материалы – «Microsoft PowerPoint
(с точным указанием обязательных чертежей)	2010»
Консультанты по разделам выпу	скной квалификационной работы
(с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная	Анищенко Юлия Владимировна
ответственность	

языках:

_

Дата выдачи задания на выполнение выпускной	19.09.2016 г.
квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий эксперт кафедры ФМПК	Капранов Борис Иванович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БЗА	Волчкова Анастасия Валентиновна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 90 страниц, 42 рисунков, 15 таблицы, 24 источников и 1 приложения.

Ключевые слова: компьютерная томография, томографическая реконструкция, методика, математическое моделирование.

Объектом исследования является методика томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon».

Цель работы – разработка методики выполнения операций томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon», моделирование процесса томографического сканирования.

В процессе исследования проводились:

- Изучение процесса сбора проекционных данных.
- Моделирования процесса томографического сканирования
- Анализ метода реконструкции по обратным проекциям.
- Анализ последовательности выполнения операций реконструкции.
- Изучение программы NRecon.

В результате исследования создана методика математической реконструкции на базе пакета «N-Recon» и программа моделирования процесса томографического сканирования цилиндрического объекта на языке Mathcad.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики:

- Сканер: TOLMI 150-10.
- Источник излучения: РАП-150МН.
- Детектор-матрица: 1024*760 пикселов.
- Размер пиксела: 135*135 мкм.
- Расстояние объект-источник: 164 мм.

- Расстояние источник-детектор: 328 мм.
- Разрядность данных: 16 бит.
- Траектория сканирования: круговая.
- Диапазон реконструированных сечений: 120-795.
- Шаг сечений: 10 мкм.
- Фильтр для фильтрации проекций: Гауссиан.
- Программа реконструкции: NRecon.

Степень внедрения: В настоящий момент согласовывается техническое задание и х/д на разработку томографа ТРД-30РМ.

Область применения: Томография промышленных изделий.

Экономическая эффективность/значимость работы:

В будущем планируется использовать результаты работы для разработки комплекта программного обеспечения для томографического дефектоскопа ТРД-30РМ.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

томография: Метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта посредством его многократного просвечивания в различных пересекающихся направлениях.

вычислительная томография: Область математики, занимающаяся разработкой математических методов и алгоритмов восстановления внутренней структуры объекта по проекционным данным (цифровым снимкам объекта, сделанным с разных точек).

(КТ) компьютерная томография: Метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта, основанный на измерении и сложной компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями.

рентгеновская компьютерная томография: Томографический метод исследования внутренней структуры с использованием рентгеновского излучения.

рентгенограмма: Фотографический снимок при помощи рентгеновых лучей.

томографическая реконструкция: Воспроизведение внутренней структуры объекта по проекционным данным, сделанным посредством многократного просвечивания этого объекта в различных пересекающихся направлениях.

методика: Алгоритм, позволяющий среднеодарённому пользователю существенно повысить вероятность решения определенного класса задач, в отсутствие автора методики.

Оглавление

Введение10
Глава 1. Обзор литературы 11
1.1 История создания и развития рентгеновских томографов 11
1.2 Эволюция компьютерной томографии 12
1.3 Детектирующие системы в томографических установках 14
1.3.1 Детекторы прямого преобразования 15
1.3.2 Детекторы непрямого преобразования 16
1.4 Традиционные методы вычислительной томографии18
1.4.1 Круговая геометрия измерений в трансмиссионной вычислительной томографии
1.4.2 Метод двумерной фильтрации (ро – фильтрации) 20
1.4.3 Преобразование Радона 21
1.5 Алгоритм Фельдкампа 22
1.6 Метрология рентгеновских томографических систем
Глава 2. Моделирование процесса томографического сканирования цилиндрического объекта
Глава 3. Этапы компьютерной томографии 36
3.1 Сбор данных реализуемый по средствам программы uCT 36
3.2 Реконструкция данных
3.2.1 Обзор программы реконструкции 40
3.2.2 Страница «Start» в окне «Reconstruction»
3.2.3 Страницы «Settings» и «Advanced» в окне «Reconstruction»
3.2.4 Страница «Output» в окне «Reconstruction»
3.2.5 Страница «Summary» в окне «Reconstruction»
3.2.6 Менеджер заданий 50
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Заключение 69
Приложение А

Введение

При решении разного рода задач неразрушающего контроля, для анализа внутренней структуры контролируемого объекта, используют различные виды излучений: электроны, фотоны, ионы, нейтроны.

В реконструктивной томографии функция f(x,y,z)описывает внутри объекта, изменение параметра вне зависимости ОТ вида излучения. В рентгеновской томографии используется проникающего рентгеновское излучение. При этом исходными данными являются проекции (рентгенограмма). Рентгенограмма представляет собой двумерную теневую проекцию. Изображение в рентгенограмме получается путем наложения структурных элементов, в результате чего нет возможности рассмотреть и сопоставить отдельные локальные фрагменты по различным параметрам. Однако, можно получить больше информации о внутреннем строении объекта если снимать рентгенограммы с различных направлений.

Получить исчерпывающее представление о внутренней структуре объекта позволяет рентгеновская компьютерная томография. Трубка, детектор и механизм перемещения являются основными элементами рентгеновского томографа. Для получения томографического изображения исследуемый образец помещается между трубкой И детектором. Взаимодействуя с материалом образца, рентгеновские лучи формируют его теневое изображение на детекторе. В процессе сканирования образец пошагово поворачивается на 360° с фиксацией теневого изображения на каждом шаге. Таким образом, получается набор теневых изображений просвеченного объекта, массив которых используется для математической реконструкции сечения объекта.

(KT)Промышленная рентгеновская компьютерная томография позволяет измерять В трёх координатах И локализовать даже малоконтрастные дефекты в литых деталях, например, пустоты и раковины, трещины. Анализ дефектов может выполняться как по нескольким секущим плоскостям, так и по объёмному изображению.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 История создания и развития рентгеновских томографов

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) достигла большого успеха среди всех существующих томографических методов. Недостатки обычной рентгенографии породили идею получения ряда снимков, а не одного, причем, ряд снимков выполняется под различными ракурсами. Путем математической обработки по этим снимкам определяются плотности исследуемого объекта в ряде сечений. КТ на ровне с обычной рентгенографией имеет следующее превосходство:

На изображении отсутствуют теневые наложения;

- Позволяет более точно измерить геометрические соотношения;

– Чувствительность КТ на порядок выше.

Создание и развитие КТ связано с исследованиями по математической реконструкции объекта из ряда снимков, выполненных под разными ракурсами.

В 1917 г. австрийским математиком Радоном И. были разработаны первые математические алгоритмы для компьютерной томографии. Физика процесса основана на экспоненциальном законе ослабления излучения.

Эти математические выкладки собственным способом подтвердил американский математик Кормак А. в 1963 г [1].

Тем не менее, сама история КТ началась гораздо раньше. В 1895 г. Немецкий физик Рентген В.К. неожиданно открыл «всепроникающие» лучи, которые теперь во всем мире именуются «Х-лучами», а в России – «рентгеновскими».

В 20-х годах весомым шагом в истории КТ стало появление томографического механического сканера. Он был изобретен французским медиком Бакажом П. Этот аппарат давал возможность получать

рентгенограмму на которой все, кроме заданного слоя тела пациента, оставалось размытым [2-4].

Принцип послойного рентгеновского исследования разработал Александро Валлебона. Он основывался на простых принципах проективной геометрии советского ученого Феоктистова В. И., который создал первый действующий рентгеновский томограф[2-4].

1.2 Эволюция компьютерной томографии

Прогресс КТ-томографов напрямую связан с увеличением числа одновременно собираемых проекций и с увеличением количества элементов (пикселей) в детекторной матрице.

В 1973 году появился аппарат I поколения. Эти КТ-аппараты были пошаговыми. Рентгеновская трубка (источник излучения) и детектор, расположенные друг напротив друга, составляли основу системы сканирования исследуемого объекта (рис. 1). Этот блок (рентгеновская трубка – детектор) в плоскости среза совершал только поступательное движение. Сканирование производилось шаг за шагом, совершая по одному обороту на слой. Обработка каждого слоя занимает около 4 минут.



Рисунок 1 – Первая генерация КТ

Во II поколении томографов использован аналогичный принцип сканирования. Трансформирование заключалось в увеличении количества детекторов (до 100) и более широком наборе ракурсов просвечивания. Это позволило сократить время сканирования. Просвечивание осуществляется веером (пучок расходящихся лучей), в сочетании с плоскопараллельным движением веера и вращением (рис. 2).



Рисунок 2 – Вторая генерация КТ

В аппаратах III поколения был применен вращательный тип движения сканирующей системы (рис. 3) с большим количеством детекторов. Здесь так же используется веер с широким углом раствора, что позволяет не делать параллельный перенос, остается только вращение.



Рисунок 3 – Третья генерация КТ

В IV поколении используется принципиально новый вид технического решения системы рентгеновская трубка - детекторы. Детекторы неподвижно размещены по всей внутренней поверхности кольца, внутри которого вращается источник излучения (рис. 4). Количество детекторов составляет от 4 до 4,8 тыс., что позволяет добиться разрешения 22 пар линий/см.



Рисунок 4 – Четвертая генерация КТ

В V поколении компьютерных томографов сканирование проводят лучом, управляемым электронной схемой. В таких томографах движущихся элементов вообще нет, однако нужны большие вакуумные трубки для формирования и управления лучом.

1.3 Детектирующие системы в томографических установках.

В настоящее время существует большое разнообразие цифровых детекторов. Детекторы могут быть следующих видов:

- точечные;
- линейные;
- матричные.

Так же детекторы можно разделить на две большие группы по типу детектирования: прямого и непрямого преобразования. Детекторы прямого

преобразования регистрируют сами рентгеновские кванты, в то время как в детекторах непрямого преобразования используются, как промежуточное звено, сцинтилляторы, которые поглощают высокоэнергетические кванты и излучают в видимом диапазоне. Свойства детектирующей системы определятся по свойствам сцинтиллятора.

Рассмотрим подробнее эти два типа детекторов. Большее внимание уделяется самой распространенной группе детекторов, которые выполнены на основе полупроводников.

1.3.1Детекторы прямого преобразования

Принцип работы детектора прямого преобразователя показа на рис.5. Толща полупроводника поглощает рентгеновский фотон, тем самым ионизируется. При помощи фотоэффекта и комптоновского взаимодействия образуются электронно-дырочные пары. В зависимости от энергии поглощенных фотонов процесс ионизации может проходить каскадно. Разноименные заряды движутся в противоположных направлениях под действием электрического поля, тем самым происходит увеличение потенциала на обкладках конденсатора, который соединен с предусилителем. Затем, уже усиленный сигнал, поступает на считывающую электронику [5].



Рисунок 5 – Схема работы детектора прямого типа.

Чаще всего, в качестве детектирующего материала используется кремний, но он имеет не большой атомный номер (Z=14), следовательно, он

эффективен при малых энергиях квантов (до 40 кэВ). Соответственно, следует использовать полупроводники с более высоким атомным номером, например: Se, CdTe, GaAs [6-8], применение этих материалов существенно расширяет энергетический диапазон данных детекторов. Тем не менее, на данный момент, в томографии доминируют детекторы непрямого преобразования.

1.3.2Детекторы непрямого преобразования

Самые распространенные сцинтилляторы изготовлены из Cd₂O₂S (Gadox) и CsI (иодид цезия).

Чувствительность разрешающую способность И системы детектирования определяет толщина сцинтиллятора Gadox'a. ИЗ Чувствительность повышается с увеличением толщины, но разрешение падает, ввиду рассеяния квантов видимого излучения В материале сцинтиллятора. Следовательно, выбирают толщину сцинтилляционного слоя компромисса чувствительностью исходя ОТ между И разрешающей способностью (рис. 6.).



Рисунок 6 – Влияние толщины сцинтиллятора на чувствительность и пространственное разрешение детектора.

На практике Gadox применяют при сравнительно низкой энергии излучения (до 80 кэВ), так как требуется увеличение толщины сцинтиллятора для повышение энергии рентгеновских квантов [9].

В то же время, CsI применяют для более высоких энергий (до 300 кэВ)[10]. Данный сцинтиллятор имеет игольчатую структуру (рис. 7). Благодаря этому, кванты света проходят практически без рассеивания, подобно как в оптоволокне. Именно эта особенность кристаллов CsI позволяет увеличивать толщину без потери разрешающей способности (рис.8.).



SEM image of Csl crystals

Рисунок 7 – Внутренняя структура CsI [11]



Рисунок 8 – Сравнение неструктурного сцинтиллятора и структурного.

Для выбора оптимального детектора для томографии руководствуются рядом следующих условий:

– доза и энергия излучения;

размер объектов контроля;

необходимое пространственное разрешение;

 необходимая контрастная чувствительность и соотношение «сигнал-шум»;

производительность процесса сканирования;

стоимость оборудования [12].

1.4 Традиционные методы вычислительной томографии

Применяемые методы реконструкции в вычислительной томографии можно разделить на интегральные и алгебраические. Интегральные методы основаны на том, что все рассмотрение проводится в непрерывной форме, а на конечном этапе непосредственной реализации алгоритма восстановления производится дискретизация. Аппарат обращения преобразования Радона является основным математическим инструментом в трансмиссионной томографии.

В отличии от интегральных методов, в алгебраических методах вычислительной томографии дискретизация осуществляется уже в начале рассмотрения. Все дальнейшее описание производится только в дискретной форме. А вся задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Реже, к системе не линейных уравнений. Итерационные алгоритмы используют, как правило, для решения получающихся систем. Алгоритмы бывают как простые и известные в вычислительной математике, так и специально разработанные для целей вычислительной томографии [13].

Методы, использующие пространственную и временную модуляцию излучения образуют особую группу.

На данный момент в трансмиссионной вычислительной томографии (ТВТ) существуют следующие методы:

- метод двумерной фильтрации (метод ро-фильтрации)
- метод фурье синтеза;

метод одномерной фильтрации (метод фильтрованных обратных проекций)

– метод разложения в ряд Фурье (метод А. Кормака)

– Преобразование Абеля [13].

В данной работе рассмотрен только метод двумерной фильтрации.

1.4.1Круговая геометрия измерений в трансмиссионной вычислительной томографии

Рассмотрим задачу восстановления двумерного распределения коэффициента ослабления излучения $\mu(x, y)$ (рис. 9).



Рисунок 9 – Круговая геометрия измерений с параллельными проекциями [13].

Формируя «карандашный» пучок, источник излучения проходит дискретно вдоль объекта. С другой стороны объекта движется детектор излучения, синхронно с источником. Полученный таким образом набор отсчетов, определяет одномерную функцию, которая называется проекцией. После, система «источник-детектор» относительно объекта поворачивается на определенный угол φ и снимается новый набор проекций.

До тех пор, пока система «источник-детектор» не повернется на угол 2π , измерения повторяются. После, необходимо восстановить двумерное распределение $\mu(x,y)$ по полученному ряду одномерных проекций. Такую систему измерений называют круговой геометрией измерений, так как система «источник» детектор вращается вокруг объекта. Проекции называют параллельными проекциями, так как для получения следующего отсчета в проекции пучок смещается параллельно предыдущему положению [13].

1.4.2Метод двумерной фильтрации (ро – фильтрации)

Восстановление неизвестной функции нескольких переменных по известным интегралам от нее меньшей размерности является задачей вычислительной томографии.

Метод ро – фильтрации состоит из двух этапов. Первый этап: получение, так называемого, суммарного изображения с помощью операции обратного проецирования. Второй этап – двумерная фильтрация суммарного изображения, результатом чего является оценка искомого изображения. Например, двумерное распределение коэффициента ослабления излучения в объекте. Получение двумерной функции, называемой суммарным изображением, исходя из ряда одномерных проекций, и есть суть операции обратного проецирования [14].

При этом, для каждой проекции $p(\varepsilon, \varphi)$ находится обратная проекция $b(x, y, \varphi)$:

$$b(x, y, \varphi) = p(x\cos\varphi + y\sin\varphi, \varphi).$$
(1)

То есть, смысл обратной проекции сводится к тому, что одномерная проекция $p(\varepsilon, \varphi)$ «размазывается» на всю двумерную плоскость перпендикулярно оси ε (рис.10).



Рисунок 10 – Получение обратной проекции [13].

1.4.3Преобразование Радона

Интенсивность падающего на детектор рентгеновского луча определяет закон Бера. Записав его по другому, получим:

$$\frac{I(l,\theta)}{I_0(l,\theta)} = e^{-q(l,\theta)}.$$
(2)

где:

$$q(l,\theta) = \int_{L(l,\theta)} c(x,y) ds.$$
(3)

Последнее выражение и есть преобразование Радона, где:

 $L(l,\theta)$ – луч прохода излучения;

c(x,y) – плотность объекта на этом луче;

s – направлено вдоль этого луча.

После логарифмирования получаем:

$$q(l,\theta) = -In[I(l,\theta)/I_0(l,\theta)].$$
⁽⁴⁾

q(*l*,*θ*) – функция поглощения, она несет в себе смысл прозрачности среды и может принимать значение от 0 (прозрачная среда) до ∞ (абсолютно не прозрачная среда).

Прозрачностью называется отношение $I(l,\theta)/I_0(l,\theta)$, может принимать значения от 0 до 1.

Если записать преобразование Радона (3) иначе:

$$\int_{L(l,\theta)} c(x,y)ds = q(l,\theta),$$
(5)

то получаем уравнение Радона (5) [14]. Принимая во внимание выражение (4), определяется двухмерная функция *q*(*l*,*θ*), где:

 $I(l,\theta)$ – результат измерений;

c(x,y) – искомая двумерная функция.

Уравнение Радона (5) можно рассматривать как интегральное относительно c(x,y), с измеренной правой частью. Найти плотность вещества c(x,y) в определенном слое объекта по измеренной интенсивности $I(l,\theta)$, а значит и $q(l,\theta)$, позволит решение уравнения Радона. Эта задача носит название – реконструкция рентгеновского изображения [14].

1.5 Алгоритм Фельдкампа

В используемой программе реконструкции «N-Recon» заложен алгоритм Фельдкампа. В пункте (1.4.1, рис.9) представлена схема измерений. В силу своей простоты она не редко реализуется в промышленной томографии и медицине. Именно поэтому разработка алгоритмов реконструкции по данной схеме измерений вызывает большой интерес.

Разбиение трехмерной задачи томографии на ряд двумерных является одним из подходов к решению к решению этой задачи. Точнее, производится двумерная реконструкция искомых функций в сечениях, перпендикулярных оси Z (Рис. 11). Однако, ни для одного из сечений не существует набора одномерных проекций, за исключением плоскости z=0. По этой причине, берутся проекции одномерные, для реконструкции слоя $z=z_0$, найденные по результатам пересечения плоскостей регистрации и плоскости $z=z_0$. Однако,

это приводит к ошибкам, и эти ошибки растут при уменьшении радиуса сканирования [14].

В работе [15] Фельдкамп и его сотрудники предложили иной подход. А точнее, разработан алгоритм трехмерной реконструкции. Этот подход получил колоссальное распространение.

В алгоритме Фельдкампа, сперва, проекции подвергаются фильтрации в двух направлениях, а уже после производится обратное трехмерное проецирование. Такой подход обеспечивает довольно высокую точность восстановления, тем не менее, этот алгоритм является приближенным. И он имеет тем лучшую точность реконструкции, чем больше радиус окружности, по которой происходит движение источника. Данное заключение проиллюстрировано на Рис. 12., где г – радиус окружности движения источника.[14]



Рисунок 11 – Экваториальная схема сбора данных [14].



Рисунок 12 – Сечения функций: *a*) перпендикулярно оси Z; *б*) r=15; *в*) r=5;

г) r= 3 [14].

1.6 Метрология рентгеновских томографических систем.

Так как, рентгеновские томографы стали использоваться в качестве измерительных систем, возникла необходимость определения и стандартизации их метрологических характеристик.

ISO 15708-1 и ISO 15708-2 являются основными нормативными документами. Они регламентируют использование и характеристики рентгеновских томографов [16-17].

Пространственное разрешение и контрастная чувствительность являются главными измерительными параметрами изображений. Эти параметры пришли из радиографии и используются в томографии.

От большого числа факторов зависит пространственное разрешение изображений в томографии. Базовое пространственное разрешение цифрового детектора является одним из определяющих. Она измеряется по радиографическому снимку с помощью дуплексного проволочного эталона [18]. Эта характеристика показывает минимальный размер элемента, который может быть обнаружен.

От отношения «сигнал-шум» зависит контрастная чувствительность. Аналогичным образом это измеряется по радиографическим изображениям. Оно определяется отношением усредненного значения сигнала от детектора к определенному отклонению в определенной области снимка [18].

Глава 2. Моделирование процесса томографического сканирования цилиндрического объекта.

Для математического моделирования процесса томографического сканирования был рассмотрен цилиндрический объект с цилиндрическими неоднородностями. Для универсальности одно отверстие расположено в центре тест-объекта, оно имитирует осевой канал в изделии, другое отверстие расположено в произвольной точке внутри тест-объекта (Puc.13). Оно имитирует произвольно расположенную неоднородность, плотность которой отклоняется от номинала. В данной геометрии ослабление излучения на каждой линии «илучатель-приемник» будет определяться длиной хорды, проходящей через окружности.

Для круга радиуса *r0* (при отсутствии внутри отверстий)выражение для определения длины хорды имеет вид [19]

$$L(s) = 2r0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{s}{r0}\right)^2} \tag{6}$$

где: *r0* – радиус тест-объекта;

s-расстояние до произвольной точки в системе сканирования.

Центр изделия радиуса r0 совпадает с центром зоны реконструкции. Центр отверстия с радиусом r2 находится на плоскости (*XY*) в точке (x0,y0). Длина хорды для угла φ будет максимальна и равна $2 \cdot r2$ в центре отверстия. Положение центра отверстия r2 на оси *S* равно длине отрезка *OD* (рис. 13).

Для того чтобы определить результирующую длину хорды, на которой будет проходить затухание рассмотрим подробно рис. 13. Чтобы найти *OD* (положение центра отверстия *r*2 на оси *S*), надо знать длину отрезка *OF*.



Рисунок 13 – Расчетная геометрия

На рисунке использованы следующие обозначения:

Х, У – координатные оси в декартовой системе координат;

х,у – расстояния до произвольной точки в декартовой системе координат;

S, R – координатные оси в системе сканирования;

s, *r* – расстояния до произвольной точки в системе сканирования;

ф – угол поворота системы сканирования относительно декартовой системы координат.

Рассмотрим Δ DOF: так как $\frac{OD}{OF} = \cos \phi \rightarrow OD = OF \cdot \cos \phi$. *OF* состоит

из двух отрезков OG = x0 и GF, то есть,

$$OF = x0 + GF.$$
⁽⁷⁾

По теореме о равенстве углов, имеющих взаимно-перпендикулярные стороны, угол *GCF* равен углу ϕ . Тогда $\Delta CGF \ tg\phi = \frac{GF}{CG} = \frac{GF}{y0}$ и получаем $GF = y0 \cdot tg\phi$. Подставив данное выражение в (2) получим выражение для отрезка *OF* [20]:

$$OF = x0 + y0 \cdot tg\varphi, \tag{8}$$

Тогда *OD* можно определить как: $OD = OF \cdot \cos\varphi = (x0 + y0 \cdot tg\varphi) \cdot \cos\varphi$ или $OD = x0 \cdot \cos\varphi + y0 \cdot \sin\varphi$. Следовательно $S(\varphi) = x0 \cdot \cos\varphi + y0 \cdot \sin\varphi$.

Для заданного угла φ длина *l* хорды отверстия *r*2 будет максимальна, то есть равна 2·*r*2 при значении $s = x \partial \cdot \cos\varphi + y \partial \cdot \sin\varphi$ и будет обращаться в нуль при $s = [x \partial \cdot \cos\varphi + y \partial \cdot \sin\varphi] - r$ и $s = [x \partial \cdot \cos\varphi + y \partial \cdot \sin\varphi] + r$ [21].

Таким образом, результирующая длина хорды, на которой будет проходить затухание примет вид:

$$l1(s,\phi) = L(s,\phi) - l(s,\phi), \qquad (9)$$

где
$$l(s,\phi) = 2 \cdot r 2 \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{s - (x0 \cdot \cos\phi + y0 \cdot \sin\phi)}{r^2}\right]^2}.$$
 (10)



Рисунок 14 – Геометрия сканирования тест-объекта

Для математического моделирования этапа сбора проекционных данных в томографии используют цилиндрический тест-объект, имеющий набор стандартных неоднородностей с заданными геометрическими размерами, расположенными в пределах зоны реконструкции (рис. 14).

Проанализируем основные закономерности поведения лучевых проекций $L(s,\varphi)$. Для этого рассмотрим тест-образец с радиусом $r_0=30$ см, содержащий четыре отверстия с радиусами и координатами центров

соответственно: r_1 =1,5 см (-15;20); r_2 =1,5 см (15;20); r_3 =4 см (0;0); r_4 =2 см (0;20). Для удобства вычислений перейдем от декартовой системы координат в цилиндрическую. По теореме Пифагора положения центров всех окружностей в декартовой системе координат: $r\theta_0$ =0 – положение центра тест-образца, $r\theta_1$ = 25 см, $r\theta_2$ =25 см, $r\theta_3$ =0 см, $r\theta_4$ = 20 см. Угол смещения каждого отверстия относительно начала координат: θ_1 = π -atan $\left(\frac{20}{15}\right)$,

$$\theta_2 = \operatorname{atan}\left(\frac{20}{15}\right), \ \theta_3 = 0, \ \theta_4 = \frac{3\pi}{2}.$$

Диапазон углов сканирования φ варьируется от 0 до 2π. При отсутствии каких-либо отверстий внутри тест-объекта для всех углов φ луч – это есть хорда, длина которой равна [19]

$$L0(s) = 2\sqrt{r_0^2 - s^2}, \qquad (11)$$

Где *s* – расстояние от центра в системе (*S*,*R*).

Учитывая, что имеется диапазон углов сканирования φ , вводим условие, описывающее координаты произвольной точки *s*, при которых они находятся внутри отверстия, то есть где *s* принимает значение $rO \cdot \cos(\varphi) - r \le s \le rO \cdot \cos(\varphi) + r$ и вводим новую функцию зависимости длины хорды

$$f(s, r0, \varphi, r) = 2\sqrt{r^2 - (s - r0\cos(\varphi))^2}, \qquad (12)$$

где *г* и *r*0 – характеристики для объекта без отверстий.

Каждое отверстие уменьшает полный путь луча. Тогда для *n*отверстий суммарное уменьшение длины луча составит:

$$\sum_{i=1}^{n} f(s, r0_{i}, \theta_{i} - \psi, r_{i}), \qquad (13)$$

где: *n* – количество отверстий;

 rO_i – положение центра і-го отверстия;

ψ - угол проекции (от 0 до 360°);

 $\theta_i - \psi$ - угол поворота отверстия относительно начала координат;

*г*_{*i*}- значение радиуса i-ого отверстия.

Получаем итоговую функцию, определяющую длину луча, на котором происходит ослабление излучения.

$$l(s, \psi, r0, r) = L0(s) - \sum_{i=1}^{4} [f(s, r0_i, \theta_i - \psi, r_i)]$$
(14)

Для построения графиков примем путь $P_{i,k} = L(x_i, \psi_k, r0, r)$,

где ψ_k изменяется от 0 до 360°, $xi = -r0 + 2\frac{r0i}{n}$ – координаты произвольной точки от -30 см до 30 см [22].

Схема алгоритма, реализующего выше приведенные вычисления приведена на рис 15.

Программная реализация вычисления длины луча прохождения излучения в тест-объекте на языке Mathcad приведена ниже [22].

Программа моделирования прохождения излучения в тест-объекте

1. Задание исходных данных.

Угол смещения отверстия Размер отверстия относительно начала координат

Параметры тест- объекта	$\theta_0 := 0$	$r_0 := 30$
Параметры 1-го отверстия	$\theta_1 := \pi - \operatorname{atan}\left(\frac{20}{15}\right)$	$r_1 := 1.5$
Параметры 2-го отверстия	$\theta_2 := \operatorname{atan}\left(\frac{20}{15}\right)$	$r_2 := 1.5$
Параметры 3-го отверстия	$\theta_3 := 0$	$r_3 := 4$
Параметры 4-го отверстия	$ \theta_4 := \frac{3 \cdot \pi}{2} $	$r_4 := 2$



Рисунок 15 – Схема алгоритма вычисления длины луча прохождения излучения в тестобъекте.

2. Переход от декартовой системы координат в цилиндрическую.

Расположение отверстия относительно центра в цилиндрической системе координат

Параметры тест-	$r_{0} := 0$
объекта	, i i i i i i i i i i i i i i i i i i i
Параметры 1-го	$r0_1 := 25$
отверстия	
Параметры 2-го	$r0_2 := 25$
отверстия	
Параметры 3-го	$r0_3 := 0$
отверстия	
Параметры 4-го	$r0_4 := 20$
отверстия	

3. Запись выражения для длины хорды тест-образца без отверстий.

$$L0(s) := 2 \cdot \sqrt{(r_0)^2 - s^2}$$

4. Ввод функции зависимости длины хорды, учитывая наличие диапазона углов сканирования φ и значений координат произвольной точки *S*, при которых они находятся внутри отверстия, то есть где *s* принимает значение $r0*\cos(\varphi)$ -r $\leq s \leq r0*\cos(\varphi)$ +r

$$f(s,r0,\varphi,r) := \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{r^2 - (s - r0 \cdot \cos(\varphi))^2} & \text{if } r0 \cdot \cos(\varphi) - r \le s \le r0 \cdot \cos(\varphi) + r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

5. Получение итоговой функции, определяющей длину луча прохождения излучения в тест-объекте с четырьмя отверстиями внутри:

$$\underset{\text{\tiny WM}}{\text{L}}(s,\psi,r0,r) := \text{LO}(s) - \sum_{i=1}^{4} \left(f\left(s,r0_{i},\theta_{i}-\psi,r_{i}\right) \right)$$

6. Задание выражения для получения графиков для угла сканирования

k – значение угла поворота сканирования от 0 до 360°; n – количество точек на оси; *i* – переменная; ψ_k – угол проекций (в радианах); x_i – координаты произвольной точки от -30 см до 30 см.

k := 0..360 n := 1000 i := 0..n $\psi_k := 1 \cdot k \cdot \frac{\pi}{180}$ $x_i := -r_0 + 2 \cdot \frac{r_0 \cdot i}{n} +$

$$\mathbf{P}_{\mathbf{i},\mathbf{k}} \coloneqq \mathbf{L}\left(\mathbf{x}_{\mathbf{i}},\boldsymbol{\psi}_{\mathbf{k}},\mathbf{r}\mathbf{0},\mathbf{r}\right)$$

7. Построение графиков для заданных углов сканирования

На рисунках 8, 9, 10, 11, представлены графики для углов сканирования $\phi = 0^{\circ}$; 45°;90°;180°



Рисунок 16 – График для угла сканирования $\phi = 0^{\circ}$



Рисунок 17 – График для угла сканирования $\phi {=}~45^\circ$



Рисунок 18 – График для угла сканирования $\phi = 90^{\circ}$



Рисунок 19 – График для угла сканирования ϕ = 180°

Таким образом, рассмотрена геометрия, моделирующая процесс сканирования цилиндрического объекта с расположенными внутри отверстиями (тест-объекта). Разработан алгоритм и программа на языке Mathcad, обеспечивающие вычисление массивов длин лучей для каждой проекции, соответствующей одному проходу системы источник-детектор для зоны реконструкции диаметром 600 мм в диапазоне углов сканирования от 0 до 360°.

Данная программа использована для разработки методики реконструкции при томографировании цилиндрических объектов.

Глава 3. Этапы компьютерной томографии.

1. Сбор данных, по средствам программы uCT (эта программа не входит в систему SkyScan)

Систем SkyScan комплектуется следующим программным обеспечением:

2. Трехмерная реконструкция данных (программа NRecon)

3. Визуализация реконструированных изображений (программа DataViever)

4. Объемная визуализация реконструированных данных (программа CTvox)

5. Анализ морфологических и плотностных характеристик (программа CTan).

6. Отображение 3D модели объекта после реконструкции (программа CTvol)

Ниже описана программа сбора данных uCT и программа реконструкции NRecon.

3.1 Сбор данных реализуемый по средствам программы иСТ.

1. Запуск программы

После запуска программы на экране появится главное окно программы, которое состоит из следующих основных зон:

1.1 Страница *Сбор данных* служит для управления сбором томографических данных (Рис. 20).
арс) 🛃 Сбор данных 🔁 Рентген 🖊 Приводы 💼 Детектор 💌 🕅 😤	9436
Направление по часовой ▼ Полный угол [1] 180 ▼ Число проекций 180 ▼ Шаг по углу [1] 1 Сделано: Осталось: ▼ Автоматически вкл/выкл рентген ▼ Показывать в окне Папка для файлов проекций Е:\CT-data\test3 …	Авт

Рисунок 20 – Страница Сбор данных

1.2 Страница Рентген содержит параметры управления

микрофокусным рентгеновским аппаратом (РА) фирмы ТСНК-лаб (Рис. 21).

💑 uCT	_		
🛃 Сбор данных 🄀 Рентген 👫 Прив	оды 🔚 Детектор 🔀 🕅		943 664 🔆 🕕
Направление по часовой Полный угол [*] 180 Число проекций [180 Шаг по углу [*] 1 Автоматически вкл/выкл рентген Показывать в окне Папка для Файлов проекций [E:\CT-data\test3	Старт Сделано: Осталось:		Авто Всё
		No error	

Рисунок 21 – Страница Рентген

1.3 Страница *Приводы* содержит параметры управления тремя приводами движения фирмы PI-drive (Рис.22).

💑 uCT							
🛃 Сбор данных 🛛	🏞 Рентген 🌲	💪 Приводы 📗	Детекто	p <mark>?• X</mark> 9	~		943 664 🔅 🔿
Состояние Коорди Вкл Г 01 Вкл Г 20 Вкл Г 100 Вкл всё Сохран	наты (мм) Назв 000 + Врац 000 + Ближ 0.000 + Влев ить координаты	ание привода сение се-дальше о-вправо Переместить	Перемес <> 0 <> 0 <> 0 <> 0 с> 0 в сохранённ	тить в			
Параметры Задать Вращение	Минимум -1073741.824	Максимум 1073741.823 200	Шаг (град) 3	Скорость 45 15			
Влево-вправо	0	200	0.5	1.5			Авто Всё
						No error	

Рисунок 22 – Страница Приводы

1.4 Страница *Детектор* содержит инструменты управления матрицей детекторов рентгеновского излучения фирмы Rad-icon (Puc.23).

💑 uct	Sec. 20
🛃 Сбор данных 😝 Рентген 👫 Приводы 🔚 Детектор 🎦 🔀 🕎	627 189
550 Время экспозиции [мсек] Живое видео	
Калибровка без излучения Захват	
Калибровка с излучением	
Коррекция по белому Вырезать Задать Вся область	
0 слева 1024 ширина 0 сверху 1000 высота	
Сохранить в файле	Авто
D:\Images\CT-test\1.tif	Bcë

Рисунок 23 – Страница Детектор

1.5 Область отображения изображения.

управления 1.6 Три кнопки наиболее важными параметрами установки.

🔁 🗙 🗺

- 2. Порядок работы
- 2.1 Проверка готовности рентгеновского аппарата.
- 2.2 Инициализация приводов
- 2.3 Настройка изображения (Рис.23)
- 2.3.1 Установка время экспозиции.
- 2.3.2 Калибровка без излучения.

2.3.3 Калибровка с излучением. Для этого следует убрать объект контроля из поля зрения матрицы детекторов.

2.3.4 Захват изображения. Изображение отображается в отдельном окне (Рис 24).

2.3.5 Регулировка яркости и контраста.



Рисунок 24 – Окно изображения. 38

2.3.6Захваченное изображение сохраняется в заданном TIFF – файле.

2.4 Настройка параметров рентгеновского аппарата

2.4.1 Ток трубки не регулируется.

2.4.2 Установка напряжения [кВ] на аноде трубки.

2.4.3 Установка задержки между нажатием кнопки и включением излучения.

2.4.4 Задается максимальное время работы облучения.

2.4.5 Передаче заданных параметров в рентгеновский аппарат.

2.4.6 Включение рентгеновского излучения.

2.5 Перемещение объекта контроля

Для перемещения объекта контроля используются шаговые двигатели: один – вращения и два – горизонтального перемещения. Управление ими выполняется со страницы Приводы (Рис. 22).

3. Сбор данных для томографии

Для сбора томографических данных служит страница *Сбор данных* (Рис. 20). Рекомендуется повернуть изображение на 180 градусов с шагом 60 градусов в режиме живого видео, чтобы проверить, не будет ли обрезана важная часть объекта контроля.

- 3.1 Задать число проекций.
- 3.2 Задать полный угол вращения.
- 3.3 Шаг по углу вычисляется автоматически.
- 3.4 Выбор направления вращения.
- 3.5 Задать имя папки для файлов проекций.
- 3.6 Запустить процесс

В ходе сбора данных проекции сохраняются в файлах с именами A_????. TIFF, где ???? – 0000, 0001...0179 (0359). Кроме того, в заданной папке сохраняется текстовый файл A_.log.

3.2 Реконструкция данных.

3.2.1 Обзор программы реконструкции.

Программа NRecon пакета SkyScan используется для реконструкции изображений сечений по томографическим проекционным изображениям, обычно рентгеновским коническим проекциям [23].

Пакет программ для реконструкции состоит из двух программ: программа интерфейса пользователя NRecon и движок реконструкции NReconServer. Две программы могут работать либо на одном компьютере, либо в кластере компьютеров. На рисунке 25 показан типичный вид NRecon и NReconServer.



Рисунок 25 – Типичный вид NRecon и NReconServer

В окне программы NRecon имеется несколько окон:

- основной дисплей, на котором показываются изображения;

– окно реконструкции (Reconstruction), которое содержит несколько страниц/закладок (Start - страница старта, Settings и Advanced - страницы параметров, Output - страница выходных опций, Summary - страница просмотра); окно соединений (Connection), которое показывает статус и прогресс всех серверов;

 – окно цветов (Color), которое позволяет просматривать изображения на основном дисплее с разными цветами и масштабами.

Исключая основной дисплей, все остальные окна являются докируемыми, то есть, пользователь программы имеет возможность перемещать их или пристыковывать к разным сторонам основного окна. Каждый пользователь может настроить вид программы NRecon по своему, последняя используемая конфигурация окон будет сохранена и загружена автоматически при следующем старте программы [23].

Так как имеется только одна область для показа, используется несколько режимов показа:

– режим навигации;

– режим регулировки;

– режим просмотра;

– режим изображения;

– режим бездействия.

Переключение с одного режима показа на другой выполняется переключением с одной страницы на другую в окне реконструкции (*Reconstruction*).

Окно цветов также связано с режимами показа, то есть, каждый режим показа имеет свои собственные настройки для показа.

Общий сценарий реконструкции следующий: после загрузки набора данных, программа NRecon активирует страницу «*Start*», и дисплей переходит в режим навигации, в котором можно просматривать проекции. Далее пользователю необходимо перейти на страницу «*Settings*» для проверки параметров, как правило, дисплей в режиме навигации позволяет пользователю проверить регулировку. После этого необходимо вновь вернуться на страницу «*Start*», чтобы сделать предпросмотр.

41

После реконструкции сечения, NRecon автоматически переходит на страницу «*Output*». Дисплей переходит в режим просмотра, где пользователь имеет возможность менять параметры, касающиеся финального выходного изображения.

Для регулировки других параметров необходимо перейти на страницу «Advanced», а для просмотра параметров сканирования и параметров реконструкции на страницу «Summary». После установки всех параметров, необходимо вернуться на страницу «Start» для начала полной реконструкции [23].

Нижеприведенные разделы опишут более подробно разные страницы окна реконструкции и менеджера заданий.

3.2.2 Страница «Start» в окне «Reconstruction»



Рисунок 26 показывает, когда страница «Start» активна.

Рисунок 26 – Страница «Start» с дисплеем в режиме навигации

Эта страница появляется по умолчанию после загрузки набора данных. Страница «*Start*» даёт возможность выбора осевой области реконструкции, для начала реконструкции или запуска пакета задач. Активизация этой страницы переключает основной дисплей в *режим навигации*, в котором показывается теневое изображение.

Для просмотра других теневых изображений, необходимо нажать кнопки вверх/вниз на панели инструментов **Р** или вызвать всплывающее окно нажатием на вторую кнопку.

Зеленая линия на основном дисплее в режиме навигации показывает слой для предпросмотра. Темно-красные линии показывают диапазон слоёв для реконструкции объёма. Эти линии можно перетаскивать в нужные положения при помощи левой кнопки мыши. На этой странице также показываются соответствующие номера слоёв (*Top, Bottom*), и их также можно изменить редактированием или прокруткой. Такая индикация области является достаточно грубой для конической геометрии. Поэтому, следует учесть безопасные поля или сделать предпросмотр для подтверждения выбора слоёв [23].

Ниже описаны функции страницы Start.

- Preview

Эта функция предназначена для регулировки разных параметров. Она, как правило, реконструирует одно выбранное сечение. Для изменения этого сечения, вы можете перетащить зеленую линий с помощью мыши, используя кнопку прокрутки или просто набрав его номер.

- Fine tuning

Несколько параметров реконструкции должны быть настроены вручную методом проб и ошибок с использованием функции preview. Это требует некоторых усилий для сохранения preview изображений, посмотреть их и затем принять решение. Функция "fine-tuning" (Рис.27) создана для того, чтобы сделать такую регулировку несколько проще посредством

43

запуска серии просмотров. Вы можете отрегулировать один параметр за раз, оставляя остальные параметры фиксированными. Таким способом вы можете настроить 4 параметра: *post-alignment, beam-hardening* коррекцию, *ring artefacts* уровень коррекции и *smoothing* уровень.

Parameter	r fine-tuning
(78t)	 Tune a parameter by trial reconstructions Post-alignment (-0.5) Beam-hardening correction (0) Ring-artifacts reduction (7) Smoothing
	Number of 5
	Start Cancel

Рисунок 27 – Окно тонкой настройки

– Start

Очевидно, эта кнопки запускает реконструкцию. При этом проверяется вместимость диска и нужно ли переписать уже существующие файлы данных.

– Add to batch

Вместо немедленной реконструкции объема, можно послать задание реконструкции в менеджер заданий. Эти задания могут быть запущены позже

3.2.3 Страницы «Settings» и «Advanced» в окне «Reconstruction»

Имеется две страницы для параметров реконструкции. Эти две страницы дают возможность менять параметры реконструкции (только те,

которые могут значительно изменить качество результирующих изображений) для текущего набора данных.

Страница «*Settings*» автоматически становится активной после загрузки, если была отмечена опция «*Post-alignment*». Рисунок 28 показывает страницу «*Settings*» в режиме дисплея регулировка, а также окно профиля.



Рисунок 8 – Страница «Settings» с режимом дисплея регулировка. Также показано окно профиля.

Страница «Settings» может быть связана с основным дисплеем 3 способами: режим регулировки, режим просмотра или режим навигации. Режим регулировки включается, если отмечены обе опции «Post-alignment» и «Show», иначе включается режим просмотра (если имеется изображение для него) или режим навигации. Можно переключаться между двумя режимами включая/ выключая опцию «Show»: при регулировке параметра просматривая существующее предварительное изображение.

Изображение. показанное дисплее. является оверлейным на изображением (альфа маскирование) двух теневых изображений для направлений (разница 180 противоположных градусов). Одно ИЗ изображений перевернуто по горизонтали. Эта опция предназначена для помощи при выборе правильного значения регулировки на первом этапе.

Начальное значение пост-регулировки вычисляется во время загрузки набора данных. Вместо сравнения исходных конических проекций, сравниваются псевдопараллельные проекции, полученные из конических проекций для 0 и 180 градусов.

Профилирование частично разрешено: клик на значок М на панели инструментов покажет 2 кривые (профили вдоль центральной горизонтальной линии, усредненные по всей вертикальной длине). Вместе с этими профилями оверлейное изображение дает интерактивный инструмент для нахождения значения пост-регулировки [23].

На рисунке 29 показана страницу «Advanced» с режимом дисплея навигация.

Во время загрузки набора данных, значение по умолчанию для каждого параметра определяется по разному.

Во-первых, несколько параметров (коррекция ужесточения пучка (*Beam-hardening correction*) и множитель HU калибровки (*In HU*)) считываются из соответствующего конфигурационного файла, сопровождающего каждый набор данных, если этот файл существует, а значение пост-регулировки (*Post-alignment*) вычисляется по умолчанию. Также назначаются угол поворота сечения (*CS rotation (deg)*) и формат выходных изображений (*File format*) в соответствии с настройками из «*Options*» \rightarrow «*Preferences*».

Во-вторых, делается попытка найти соответствующий вход в менеджере заданий. Если такой вход будет найден, то параметры в менеджер заданий будет загружены точно такими, как они есть. Если нужный вход не будет найден в менеджере заданий, делается попытка найти соответствующий «log» файл (<dataset>.log) для ранее использованных параметров. И они будут загружены, если найдутся.

46



Рисунок 29 – Страница «Advanced» с дисплеем в режиме навигации

Если никаких параметров не будет найдено, и отмечена кнопка "Load last-used parameters instead of default protocol" в меню «Options» \rightarrow «Preferences», то будут загружены последние использованные параметры (исключая значение пост-регулировки - которая всегда вычисляется по набору данных, выходной формат (File format), опцию масштаба (Scales/labels ON) и поворот сечения (CS rotation)). Если и таких параметров не будет найдено, будет загружен протокол по умолчанию.

способов Альтернативно, есть несколько изменить параметры реконструкции вместо их изменения один за одним. Можно загрузить набор параметров реконструкции из правильного «log» файла (сгенерированного NRecon), из правильного файла шаблона протокола *.rcp (созданного NRecon, страницу «Summary»), смотри или загрузить последние использованные параметры. Все эти функции доступны через меню «Actions» [23].

47

3.2.4 Страница «Output» в окне «Reconstruction»

Рисунок 30 показывает активную страницу Output и основной дисплей в режиме просмотра.



Рисунок 30 – Страница Output с режимом дисплея просмотр

Это страница обладает возможностью изменять параметры, которые влияют на выходные изображения по формату (File format), цвету (Color) или динамическому диапазону (окно гистограммы). Это сочетается с режимом просмотра на основном дисплее, если имеется реконструированное изображение сечения [23].

Страница «*Output*» автоматически становится активной после выполнения пробной реконструкции (функция «*Preview*» на странице «*Start*»).

Окно гистограммы – выбор динамического диапазона изображения

Эта функция определяет динамический диапазон данных при конвертации из вещественных чисел (реконструкция выполняется для вещественных числе с плавающей точкой) в целые, задаваемые выходным

форматом файла. Гистограмма вычисляется только по рассчитанному сечению. Поэтому, если объект сильно неоднороден, важно выбрать сечение, которое проходит через плотные части объекта; иначе большие значения могут быть отсечены на финальном изображении

- In HU

Отметка кнопки *In HU* переключает единицы с абсолютных значений (коэффициенты ослабления) в единицы Хаунсфилда.

– Реконструкция области интереса

Эта опция разрешает реконструкцию области интереса. По умолчанию область интереса - прямоугольник.

- Масштаб/Включение меток

Отметьте эту кнопку, чтобы нанести масштаб и метки на ваши финальные изображения.

– Назначение

Задает выходной набор данных. Имена файлов слоев фиксированы: <dataset>_rec.bmp, <dataset>_rec.tif или <dataset>_rec.jpg. Но вы можете изменить папку.

- Формат файла

Имеется четыре формата для вывода: 8-битный ВМР (0-255), 16битный TIFF (0-65535) или 8-битный JPG(0-255) и 8-битный PNG (0-255).

3.2.5 Страница «Summary» в окне «Reconstruction»

На рисунке 31 показана страница «*Summary*», когда она активна и главный дисплей находится в режиме изображения.



Рисунок 31 – Страница «Summary» с режимом дисплея изображение

Страница «*Summary*» автоматически становится активной во время реконструкции, после реконструкции первого слоя.

Эта страница даёт возможность просматривать одним взглядом все используемые параметры. Текущие настройки можно сохранить в файле протокола (*.rcp), нажав на кнопку «*Save settings as*».

Аналогично просмотру теневых изображений можно просматривать изображения слоёв, используя кнопки **Р** <u>р</u> <u>р</u> [23].

3.2.6 Менеджер заданий

Окно «*Batch manager*» (рис. 32) позволяет создать список задач, которые будут выполнены позже. Это окно является частью интерфейса и его можно делать видимым/невидимым, менять его размер или положение. Оно показывается автоматически при старте NRecon если в командном файле есть входы.

Вход в командный файл задаётся двумя элементами: входной набор данных и выходная директория. Нельзя задать два одинаковых входа в списке.



Рисунок 32 – Менеджер заданий

Для добавления задания в список необходимо загрузить набор данных и соответственно отрегулировать параметры, далее нажать кнопку «Add to batch» на странице «Start». Входы в командный файл не удаляются автоматически, даже если задание выполнено. Их нужно удалять один за одним, вручную.

Для выполнения командного файла необходимо нажать кнопку «Start batch». В этом случае будут обработаны только входы со статусом ожидания. Если один из входов ошибочен, можно заново представить его (информация об ошибке сохраняется в файле NRecon_error.log в системной папке): выбрав его левой кнопкой мыши, и нажать на кнопку «Submit again».

Для подробного просмотра входа командного файла необходимо кликнуть на нём, и его содержимое будет показано на панели справа. Можно изменить параметры двойным кликом на элементе. Для безопасного изменения параметров, рекомендуется загрузить набор данных и рассмотреть его снова двойным кликом на входе командного файла, который загрузит набор данных и его параметры в основное окно [23].

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке методики выполнения томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon». Объектом исследования является методика выполнения томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon».

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НТИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НТИ;
- 2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- 3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
- 4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

Технико-экономическое обоснование НИР

При решении разного рода задач неразрушающего контроля для анализа внутренней структуры контролируемого объекта используют различные виды излучений: электроны, фотоны, ионы, нейтроны. В отличии от рентгеновской дефектоскопии, с помощью которой только устанавливается наличие дефекта и его вид, рентгеновская компьютерная томография позволяет также определить ориентацию дефекта, его геометрическую форму и размеры.

Промышленная рентгеновская компьютерная томография (KT) трёх координатах позволяет измерять В И локализовать даже малоконтрастные дефекты в литых деталях, например, пустоты и раковины, трещины. Анализ дефектов может выполняться как по нескольким секущим плоскостям, так и по объёмному изображению.

4.1 Планирование научно-исследовательской работы

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 [14].

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 1.

	N⁰	Содержание	Должность			
	раб	работ	исполнителя			
Разработка		Составление и				
Taspa001Ka	1	Капранор Б И				
Технического	1	технического	Капранов Б.И.			
задания		задания				
		Выбор				
	2	направления	Капранов Б.И.			
		исследований				
Выбор		Подбор и				
направления	2	изучение				
исслелований	5	материалов по	ДОЛЧКОВА А. D .			
		теме				
		Календарное	Капранов Б И			
	4					
		работ	D0ЛЧКОВа А.D.			
		Создание				
		процесса				
Теоретические и	5	математического	Капранов Б.И.,			
экспериментальные	5	моделирования	Волчкова А.В.			
1		томографического				
исследования		сканирования				
	6	Разработка	ROTHKORA A R			
	0	методики	DOMAROBA 71.D.			
		Оценка				
Обобщение и	7	эффективности	ROTHKORA A R			
оценка результатов	Ι	полученных	D0ЛЧКОВа А.D.			
		результатов				
		Составление				
по НИР	8	пояснительной	Волчкова А.В.			
		записки				

Таблица 1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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*_{ож} используется следующая формула:

$$t_{\text{ожi}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$
 (15)

где $t_{0,mi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы чел.-дн.;

*t*_{min*i*} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной іой работы, чел.-дн.;

*t*_{max *i*} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной іой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{\mathbf{p}_i} = \frac{t_{\mathrm{owi}}}{\mathbf{U}_i},\tag{16}$$

где *т*_{рі} – 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 [14].

4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{\kappa i} = T_{\rm pi} \cdot k_{\kappa a \pi} , \qquad (17)$$

где T_{кі}- продолжительность выполнения і-й работы в календарных днях;

T_{рі} – продолжительность выполнения і-й работы в рабочих днях;

k_{кал}- коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\rm KAR} = \frac{T_{\rm KAR}}{T_{\rm KAR} - (T_{\rm BMX} + T_{\rm RP})},$$
 (18)

где *Т*_{кал} – количество календарных дней в году;

*Т*_{вых} – количество выходных дней в году;

 $T_{\rm np}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$T_{\text{кал}} = 365$$

$$T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}} = 118$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Временные показатели проведения научного исследования

		Продолжительность работ							
№ раб.	Исполнители	t _{min} , t _{max} , чел- дни дни		t _{ожі} , чел- дни	Т _{рі} , раб.дн	Т _{кі} , кал.дн			
1	Капранов Б.И.	2	2	2	1	2			
2	Капранов Б.И.	1	3	2	2	3			
3	Волчкова А.В.	15	25	19	19	28			
4	Капранов Б.И., Волчкова А.В.	3	5	4	2	3			
5	Капранов Б.И., Волчкова А.В.	28	36	31	16	23			
6	Волчкова А.В.	22	37	24	24	36			
7	Волчкова А.В.	5	12	8	8	12			
8	Волчкова А.В.	4	8	6	6	9			
И	ТОГО					116			

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план. Общее содержание работ для проведения исследования составило 8 позиций. Для построения таблицы временных показателей проведения НИР был рассчитан коэффициент календарности. С помощью данных показателей был разработан календарный - план график проведения НИР по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, что указывает на целесообразность проведения данного исследования. Таблица 3 - Календарный план-график проведения научного исследования

No		T _{ki}		Т _{кі} Продолжительнос			Продолжительность выполнения работ							ОТ				
работ	Вид работ	Исполнители	кал. дн.	ян	вај	ЭР	Ф лн	евр s	oa	М	арт	L.	ап	рел	ΙЬ	Ма	ай	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Капранов Б.И.	2	Ē														
2	Выбор направления исследований	Капранов Б.И.	3		₿													
3	Подбор и изучение материалов по теме	Волчкова А.В.	28															
4	Календарное планирование работ	Капранов Б.И., Волчкова А.В.	3					≣										
5	Создание процесса математическ ого моделировани я томографичес кого сканирования	Капранов Б.И., Волчкова А.В.	23							Æ		囲						
6	Разработка методики	Волчкова А.В.	36									Ű						
7	Оценка эффективност и полученных результатов	Волчкова А.В.	12															
8	Составление пояснительно й записки	Волчкова А.В.	9															

4.4 Бюджет научного исследования

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

 $K_{npoekta} = M_{Mat} + M_{am.texh} + M_{3n} + M_{coul.ott.} + M_{hakn.pacx} + M_{npotue}$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. [14]

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-150МН, детектор матричный Shad-o-Box-1769, поворотная платформа М-061.PD с контроллером С-863, 2 прецизионная линейная платформа М.403-82S с контроллером С-663, пакет программ SkyScan и компьютер. Все оборудование пренадлежит центру реконструкции, поэтому личных материальных затрат нет.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

1) Микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-150МН – по пятой группе (оборудование испытательное): 2,5 года.

2) Детектор матричный Shad-o-Box-1769 — по пятой группе (оборудование испытательное): 2 года.

 Поворотная платформа M-061.PD – по пятой группе (оборудование испытательное): 7 года.

 Компьютер – по третьей группе (техника электронновычислительная): 5 лет.

60

Наименование	Единицы	Коли	Цена за ед.	Затраты на
	измерения	че-	руб.	материалы,
		ство		(З _м), руб.
Микрофокусный	Килограмм	1	764 тыс.	764 тыс.
рентгеновский аппарат				
РАП-150МН				
Детектор матричный	Кило	1	1300 тыс.	1300 тыс.
Shad-o-Box-1769	грамм			
Поворотная платформа	Шт	1	170	170 тыс.
M-061.PD			тыс.	
Компьютер	Шт	1	1000	1000 тыс.
			тыс.	
Итого				3 234 тыс.

Таблица 4 – Материальные затраты

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию оборудования техники И_{ам.обор}, по следующей формуле

$$M_{aM. of op} = \left(\frac{T_{ucn. of op}}{365}\right) \times K_{of op} \times H_{a},$$
(19)

где Т_{исп.обор} – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

Кобор – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации.

$$H_{a} = \frac{1}{T_{c.c. \text{ of op.}}},$$
(20)

где Т_{с.с обор.} – срок службы оборудования.

$$\begin{split} & \mathcal{H}_{am.pehm.an} = \left(\frac{T_{ucn.komn}}{365}\right) \cdot \mathcal{K}_{pehm.an} \cdot \mathcal{H}_{a} = \left(\frac{1}{365}\right) \cdot 764000 \cdot \frac{1}{2,5} = 837,3 py \delta, \\ & \mathcal{H}_{am.komn} = \left(\frac{T_{ucn.komn}}{365}\right) \cdot \mathcal{K}_{komn} \cdot \mathcal{H}_{a} = \left(\frac{1}{365}\right) \cdot 1000000 \cdot \frac{1}{5} = 548 py \delta, \\ & \mathcal{H}_{am.dem} = \left(\frac{T_{ucn.komn}}{365}\right) \cdot \mathcal{K}_{dem} \cdot \mathcal{H}_{a} = \left(\frac{1}{365}\right) \cdot 1300000 \cdot \frac{1}{2} = 1780,8 py \delta. \\ & \mathcal{H}_{am.nog.nn} = \left(\frac{T_{ucn.komn}}{365}\right) \cdot \mathcal{K}_{nog.nn} \cdot \mathcal{H}_{a} = \left(\frac{1}{365}\right) \cdot 170000 \cdot \frac{1}{7} = 66,5 py \delta. \\ & \sum \mathcal{M}_{am.ofop} = \mathcal{M}_{am.pehm.an} + \mathcal{M}_{am.Komn} + \mathcal{M}_{am.dem} + \mathcal{M}_{am.nog.nn} \\ & = 837,3 + 548 + 1780,8 + 66,5 = 3232,6 py \delta. \end{split}$$

Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

– выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;

- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;

выплаты по районным коэффициентам;

- компенсации за неиспользованный отпуск;

– другие виды выплат.

Примем, что полный фонд заработной платы (Ф_{3П}):

 $\Phi_{3\pi} = 28000 \text{руб,}$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 30%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды (И_{соц.отч.}):

$$\mathcal{M}_{\text{COIL,OTY}} = \text{ECH} = 0,3 \cdot \Phi_{3\Pi} = 0,3 \cdot 28000 = 8400$$
(21)

Накладные расходы используют на следующее:

1) затраты на текущий ремонт;

- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы. Тогда:

$$И_{\text{накл. расх.}} = 2 \cdot \Phi_{_{3\Pi}} = 2 \cdot 28000 = 56000$$
 руб, (22)

Рассчитываем себестоимость проекта (Кпроекта).

$$K_{npoekma} = M_{am.obop} + \Phi_{3n} + M_{Hakn.pacx} + M_{cou.omv} = 3232,6 + 28000 + 56000 + 8400 = 95632,6 py6.$$
(23)

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$\Pi P = 0.3 \cdot K_{npoekma} = 0.3 \cdot 95632, 6 = 28689, 8 \tag{24}$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц).

$$\mathcal{U} = K_{npoekma} + \Pi P = K_{npoekma} + \Pi P = 95632, 2 + 28689, 8 = 124322, 4$$
(25)

Таблица 5 – Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Амортизация оборудования	И _{ам,обор}	3232,6
Затраты на оплату труда	ЗП	28000
Отчисления на социальные нужды	И _{соц.отч}	8400
Накладные расходы	И _{накл.расх}	56000
Себестоимость проекта	Кпроекта	95632,6
Плановые накопления (прибыль)	ПР	28689,8
Стоимость проекта (цена)	Ц	124322,4

Исходя из расчетов и полученных результатов приведенных в таблице 5, можно сделать вывод, что данная научно исследовательская работа входит в обозначенные бюджетные ограничения, так как стоимость проекта равная 124322,4 рублей, меньше приблизительной суммы затрат равной 3,243 млн. рублей.

Оценка целесообразности исследования

Оценка научно-технического уровня следования

Для определения научно - технического уровня проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент научно-технического уровня (НТУ).

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик.

Формула для определения общей оценки:

$$HTY = \sum_{i=1}^{n} k_i * \Pi_i, \qquad (26)$$

где k_i – весовой коэффициент *i* – го признака;

 Π_{i} – количественная оценка i – го признака.

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,8
Теоретический уровень	0,7
Возможность реализации	0,6

Таблица 6 – Весовые коэффициенты НТУ

Таблица 7 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 8 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Разработка нового метода	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ	8
Разработка численных экспериментов	6
Элементарный анализ результатов исследования	3

Таблица 9 – Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Расчет НТУ:

$$HTY = \sum_{i=1}^{n} k_i * \Pi_i, \tag{27}$$

где $k_1 = 0.8; k_2 = 0.7; k_3 = 0.6;$ $\Pi_1 = 9; \Pi_2 = 6; \Pi_3 = 4;$ HTV = 0,8*9+0,7*6+0,6*4 = 13,8.

По полученным значениям коэффициент научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне

исследования, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

Оценка возможных рисков

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков даст возможность избежать опасные факторы, которые негативно отражаются на внедрении в жизнь проекта.

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i. Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 10-14.

№	Риски	Pi	b _i	Wi	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация персонала	0	2	0,061	0
2	Непросвещенность предприятий о данном методе	0	4	0,168	8,928
3	Несоблюдение техники безопасности	5	6	0,23	6,25
4	Увеличение нагрузки на персонал	0	4	0,168	8,928
5	Сумма		16	0,627	24,1

Таблица 10 – Социальные риски

Таблица 11 – Экономические риски

№	Риски	P _i	b _i	Wi	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	2	0,029	1,960
2	Экономический кризис	25	3	0,049	0,980
3	Непредвиденные расходы в плане работ	25	5	0,126	5,862
4	Сложность выхода на мировой рынок	75	6	0,136	10,29
5	Сумма		16	0,34	19,92

Таблица 12 – Технологические риски

№	Риски	P _i	b _i	Wi	$P_i \cdot w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	6	0,24	5,25
2	Низкое качество поставленного оборудования	25	8	0,313	7,0357
3	Сумма		14	0,553	12,2857

Таблица 13 – Научно-технические риски

№	Риски	Pi	b _i	Wi	$P_i \cdot w_i$
1	Развитие конкурентных методов	50	5	0,135	8,936
2	Отсутствие результата в установленные сроки	25	6	0,123	6,25
3	Несвоевременное патентование	25	8	0,176	3,657
Сумма		19	0,434	18,843	

Таблица 14 – Общие риски

№ п/п	Риски	b _i	Wi	$\mathbf{b_i}^* \mathbf{w_i}$
1	Социальные	16	0,627	10,03
2	Экономические	16	0,34	5,44
3	Технологические	14	0,553	7,742
4	Научно-технические	19	0,434	8,246
Итого				31,458

Расчет рисков дает общую оценку в 31,458. Эта цифра говорит, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных препятствий.

В экономическом разделе выпускной квалификационной работы было проведено планирование и составлены графики научно технического исследования. Всего требуется 116 рабочих дней на реализацию научно технического исследования. Составлена смета затрат на научно техническое исследование. Проведен расчет амортизационных вложений, расчет заработной платы, эксплуатационные и. накладные расходы. Величина затрат на реализацию НТИ составила 124322,4 руб.

Заключение

В работе произведен обзор литературы по трансмиссионной томографии, разработаны алгоритм и программа моделирования процесса томографического сканирования цилиндрического объекта на языке Mathcad. В работе описана вся процедура создания процесса моделирования.

Рассмотрены этапы компьютерной томографии, приведено описание программы сбора данных «uCT» и описание программы реконструкции «NRecon». Разработана и проверена на практике методика томографической реконструкции на базе пакета «NRecon».

В будущем планируется использовать результаты работы для разработки комплекта программного обеспечения для томографического дефектоскопа ТРД-30РМ.

Список публикаций студента

1. Кузнецова И.С., Волчкова А.В. Методы неразрушающего контроля, используемые в ходе строительства резервуаров // Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее», 3-8 октября, 2016 Томск, Россия.

2. Волчкова А.В., Капранов Б.И. Моделирование процесса томографического сканирования на основе тест-объекта // Ползуновский вестник. – 2017. / Принято к публикации.

Приложение А

(обязательное)

Методика выполнения операций томографической реконструкции на базе пакета «N-Recon»

Оглавление

Технические характеристики	3
Создание log файла	5
Запуск программы	8
2. Порядок работы	11
2.1 Сбор данных	11
2.2 Загрузка проекционных данных	11
2.3 Настройка и работа с изображением	11
2.4 Настройка параметров изображений	14
2.5 Реконструкция сечений	17
Технические характеристики

Функциональные блоки микротомографа:

1. Аппарат рентгеновский микрофокусный РАП-150МН (производитель: ТСНК – лаб, г. Москва).

Название характеристики	Значение		
Минимальный размер фокусного пятна рентгеновской трубки	50±100% мкм		
Диапазон регулирования напряжения	20 – 150 кВ		
Ток	100 мкА		
Максимальная экспозиция	10000 c		

2. Детектор матричный Shad-o-Box – 1769

Название характеристики	Значение		
Размер матрицы	1024х760 пикселей		
Размер активной зоны	135х135 мм		
Шаг пикселей	135 мкм		
Динамический диапазон	4000:1		
Время считывания матрицы в память	540 мс		
Время передачи полного изображения на ПК	0.5 c		

 ПоворотнаяплатформаМ-061. РDс контроллером С-863 (производитель: Physik Instrumente (PI) GmbH&Co., Германия).

Название характеристики	Значение		
Диаметр платформы	100 мм		
Диапазон угловых перемещений	более 360°		
Минимальный шаг углового перемещения	17,5 мкрад (0,001°)		
Люфт	200 мкрад		
Точность поворотного позиционирования	50 мкрад		
Максимальная скорость вращения	90 °/c		

4. Прецизионная линейная платформа M.403-82Sc контроллером C-663 (производитель: Physik Instrumente (PI) GmbH&Co., Германия).

Название характеристики	Значение
Диапазон перемещения	0-200 мм
Минимальный шаг перемещения	2,0 мкм
Люфт	6 мкм
Точность повторного позиционирования	1 мкм
Максимальная скорость перемещения	3 мм/с

Создание log файла

Для реконструкции используется программный комплекс, состоящий из некоторого числа функциональных блоков.

Один из блоков, это блок установки параметров томографической системы (устанавливаются параметры геометрии).

Он позволяет задавать следующие параметры: количество проекций, угол конического луча, размер зоны восстановления (количество пикселов в детекторной матрице), охват объекта системой сбора данных (50 %, 100 %, более 50 %), расстояние источник-детекторная матрица, расстояние источник-объект, направление вращения объекта.

Все исходные данные хранятся в log файле. Log файл для томографа TOLMI 150-10 приведён в таблице 1. Обычно, этот файл копируют и при необходимости изменяют данные, если копировать его неоткуда, тогда он создается в Блокнот и хранится в той же папке, где и теневые изображения. Таблица 1 - Исходные данные log файла для томографа TOLMI 150-10

[System]	
Scanner=TOLMI 150-10	Наименование сканера:
	Имя компании и модель сканера
Instrument S/N=10H03060	Серийный номер сканера
Software=Version 1.1 (build 3)	Версия программы
Home Directory=C:\	Исходный каталог (в иерархической системе каталогов)
Source Type=RTW 60/100	Тип источника излучения
Camera=SHT MR285MC	Камера
Camera Pixel Size (um)=135	Размер пиксела
CameraXYRatio=0.75	Отношение X/Y для камеры (760пикс/1020пикс)
[Acquisition]	
Data Directory=D:\Проба12	Справочник данных
Filename Prefix=A_	Наименование префикса
Number Of Files=360	Количество файлов проекций
Number Of Rows=768	Число строк (рядов) - количество пикселов по оси Ү
Number Of Columns=1024	Число столбцов - количество пикселов по оси Х
Optical Axis (line)=384	Главный слой на матрице, на который рентгеновские лучи падают перпендикулярно (центр матрицы по оси Y)
Object to Source (mm)=164	Расстояние объект-источник (мм).
Camera to Source (mm)=328	Расстояние источник-детектор (матрица) (мм)
Source Voltage (kV)=80	Напряжение трубки (кв)
Source Current (uA)=100	Ток трубки (мка)
Image Pixel Size (um)= 67.5	Размер пиксела на изображении
Scaled Image Pixel Size (um)=67.5	Масштабированный размер пиксела изображения

Продолжение таблицы 1

Image Format=TIFF	Формат изображения		
Depth (bits)=16	Разрядность данных (бит)		
Screen LUT=0	Регулировка LUT изображения на экране		
Exposure (ms)=380	Экспозиция (мс)		
Rotation Step (deg)=1	Шаг вращения (град)		
Use 360 Rotation=YES	Поворотов(360 или 180+)		
Scanning position=1.969 mm	Перемещение на оборот по оси (для спиральной томографии игнорировать) (мм)		
Flat Field Correction=OFF	Коррекция равности нуля		
Frame Averaging=OFF (3)	Усреднение изображений		
Sharpening (%)=40	Увеличение резкости изображения (%)		
Random Movement=OFF	Случайное перемещение		
Geometrical Correction=ON	Геометрическая коррекция		
Filter=no filter	Фильтрация		
Rotation Direction=CC	Направление вращения: CW – по часовой стрелки CC – против часовой стрелки		
Type of Detector Motion=STEP AND SHOOT	Тип движения детектора		
Scanning Trajectory=ROUND	Траектория сканирования		
Number of connected scans=1	Число объединённых сканов		
Study Date and Time=Mar 31, 2017 14:04:59	Дата и время		
Scan duration=00:06:13	Продолжительность сканирования		
[File name convention]			
Filename Index Length=4	Количество знаков в индексе файла		
Filename Prefix=A_rec	Префикс реконструированных файлов		
[Reconstruction]			
Reconstruction Program=NRecon	Программа реконструкции		
Program Version=Version: 1.6.10.4	Версия программы		
Program Home Directory=D:\Skyscan\nreconLocal	Исходный каталог программы		
Reconstruction engine=NReconServer	Реконструирующая машина		
Engine version=Version: 1.6.10	Версия реконструирующей машины		
Reconstruction from batch=No	Реконструкция из группы проекций		
Reconstruction servers= HOME	Сервер для реконструкции		
Option for additional F4F float format=OFF	Опция для присоединения F4F формата с плавающей точкой		
Reconstruction mode=Standard	Способ реконструкции		
Dataset Origin=TOLMI 150-10	Источник набора данных (установка)		
Dataset Prefix=A_	Префикс файлов реконструкции		
Dataset Directory=E:\тест-объект	Набор данных каталога		
Output Directory=E:\тест-объект	Выходной каталог		
Time and Date=May 25, 2017 20:11:24	Дата и время		
First Section=200	Первое сечение		
Last Section=528	Последнее сечение		
Reconstruction duration per slice (seconds)=1.017751	Время реконструкции на один слой (с)		

Продолжение таблицы 1

Postalignment=7.00	Post выравнивание
Section to Section Step=10	Шаг сечений
Sections Count=33	Количество рассчитанных сечений
Result File Type=BMP	Формат результирующих файлов
Result File Header Length	
(bytes)=1134	Длина результирующих фаилов (изооражении)
Result Image Width (pixels)=768	Ширина результирующего изображения (пиксел)
Result Image Height (pixels)=768	Высота результирующего изображения (пиксел)
Pixel Size (um)=67.5	Размер пиксела
Reconstruction Angular Range (deg)=360.00	Угловая цепь реконструкции (град)
Use 180+=OFF	Использовать 180+
Starting view of 180+	
reconstruction=0	Исходный вид реконструкции 180+
Angular Step (deg)=1.0000	Угловой шаг(град)
Smoothing=2	Сглаживание
Smoothing kernel=0 (Gaussian)	Сглаживание ядра (гауссиан)
Ring Artifact Correction=7	Коррекция кольцевых дефектных изображений
Draw Scales=OFF	Рисовать сечения
Object Bigger than FOV=OFF	Объект больше чем FOV
Reconstruction from ROI=ON	Реконструкция из ROI
Filter cutoff relative to Nyquisit	Финитр отазнания относитали но настоти Найкриста
frequency=100	Фильтр отсечения относительно частоты паиквиста
Filter type=0	Тип фильтра
Filter type meaning(1)=0:	
Hamming (Ramp in case of optical	Значение типа фильтра: Хэмминг (наклонная плоскость в
scanner); 1: Hann; 2: Ramp; 3:	случае оптического сканера)
Almost Ramp;	
Filter type meaning(2)=11: Cosine;	Значение типа фильтра:
12: Shepp-Logan; [100,200]:	11: косинус; 12: Shepp-Logan;
Generalized Hamming,	[100,200]: обобщенная Хэмминга, альфа = (ifilter-100)/100
alpha=(iFilter-100)/100	
Undersampling factor=2	Фактор подвыборки
Threshold for defect pixel mask	Порог для дефектной пиксельной маски (%)
(%)=0	
Beam Hardening Correction	Коррекция луча по Хардингу
(%)=10	
CS Static Rotation (deg)=0.0	Вращение вычислительнои техники
Minimum for CS to Image	Минимальное количество изменений изображения
Conversion=-0.000000	*
Maximum for CS to Image	Максимальное количество изменений изображения
Conversion=0.028286	Varuature Varuature
	калиоровка в единицах Лаунсфилда
DWIT LUI=U	со г-регулировка для фаилов формата ВМР
Cone-deam Angle Horiz.(deg)=	Угол конуса по горизонтали
Cone heam Angle Vort (dog)	
-17.962/77	Угол конуса по вертикали
-1/./027//	

Запуск программы

Для запуска программы NRecon можно:

либо дважды кликнуть левой кнопкой мыши на иконке paбoчего стола, либо в линейке задач выбрать Пуск - Программы - NRecon. На экране появится главное окно программы, которое состоит из следующих основных зон:

1.1 Страница «*Start*» даёт возможность выбора осевой области реконструкции, для начала реконструкции или запуска пакета задач (Рис.1).

Start	Settings	Advanced	Output	Summary	
ſØ,	8	Position :	384	*	
	I)	fastest :	38	4	
	Fir	e tuning	Prev	iew	
(11)	_	Top :	526	A.	
₩V] ₩V]		Bottom :	180	(A) (T)	
		Step :	10	* *	
	Re	ecommended aximum range	79	688	
	Ad	d to batch	Sta	art	

Рисунок 1 – Страница «Start»

1.2 Страницы «Settings» и «Advanced» содержат параметры реконструкции, дают возможность менять параметры реконструкции (Рис.2).

Start Settings Advanced Output Summary	
	Start Settings Advanced Output Summary
 Smoothing (4) Misalignment compensation: Show 5.5 Object larger than field of view Ring artifacts reduction	? Smoothing kernel Gaussian Image: Undersample Image: Sthorder beam-handering corr. Apply the same misalignment compensation to all sub-scans Image: Undersample Image: Undersample Sthorder beam-handering corr. Apply the same misalignment compensation to all sub-scans Image: Undersample (50%) Image: Undersample Image: Undersample

Рисунок 2 – Страницы «Settings» и «Advanced»

1.3 Страница «*Output*» обладает возможностью изменять параметры, которые влияют на выходные изображения по формату, размеру, цвету или динамическому диапазону (Рис. 3).

Start .	Settings Advanced	Output Summary
₩×		
	-0.000044	0.020305
	🕅 In HU	Auto
	Use ROI	Circle 👻
	Scales ON	Reset ROI
, sainte a state a sta	Destination:	Browse
	C:\Users\user\E)esktop\BKP Вол
	File format:	TIF(16) 👻
		14f

Рисунок 3 – Страница «Output»

1.4 Страница «*Summary*» даёт возможность просматривать одним взглядом все используемые параметры (Puc.4).

.

art	Settings	Advanced	Output	Sur	mmary
		Sa	ve settings	s as	
Rec	. options	Value			-
Sca Sca Sca Inpu	n prefix inned at inned with in type it folder	A_ Mar 31, 2 50 Single sca C:\Users\	017 14:04 an: 360x10 user\Desk	1:59)24x` top`	•
Acq	uisition	Value			*
Dim Pixe Tim Sca Sca	ension sl(micron) e/Date in duration inner	360 of 10 67.500x6 Mar 31, 2 00:06:13 TOLMI 15	24x768 7.500 017 14:04 60-10	1:59	•
	1	1	1.001		

Рисунок 4 – Страница «Summary»

1.5 Область отображения изображения (Рис.5).



Рисунок 5 – Область отображения изображения.

2. Порядок работы

2.1 Сбор данных

Для выполнения реконструкции изображений сечений объекта контроля необходимо с помощью томографа получить массив проекционных данных данного объекта контроля.

После сбора большого массива проекционных данных, все томографические изображения (рентгеновские конические проекции) будут автоматически сохранены в одну общую папку на персональном компьютере.

2.2 Загрузка проекционных данных

Следующим шагом реконструкции является запуск программы NRecon пакета SkyScan на персональном компьютере. При запуске программы NRecon происходит автоматический запрос набора данных для выполнения реконструкции.

- 1. Для загрузки набора данных необходимо из папки с полученными ранее теневыми изображениями выбрать одну проекцию и нажать кнопку *«открыть»*.
- Если необходимо открыть папку для выбора других проекций нажать на панели инструментов значок *(Open dataset for reconstruction)* и выбрать необходимый файл.

2.3 Настройка и работа с изображением

После загрузки набора данных, программа NRecon активирует страницу «*Start*» и дисплей переходит в режим навигации, в котором можно просматривать проекции при помощи кнопок **M M** или нажав на кнопку посередине **P**₁**000** появится окно прокрутки изображений (Puc.6), где можно выбрать нужный слой перетаскивание бегунка, либо вбив в строку «Projection range» номер слоя.

Display naviga	tion	X
	Projection range:	0
	0	
		Close

Рисунок 6 – Окно навигации

1. При помощи левой кнопки мыши передвинуть зеленую линию на основном дисплее в режиме навигации на необходимый уровень для предпросмотра сечения (автоматически она располагается по центру изображения), или просто набрать номер нужного сечения в поле «*Position*» на странице «*Start*».

2. Темно-красными ЛИНИЯМИ задать диапазон слоёв ДЛЯ реконструкции объёма, на странице «Start» в полях «Top» и «Botton» высвечиваются верхний И нижний пределы ЗОНЫ реконструкции, соответственно.

3. Нажать на функцию «Preview».

На экране появится изображение сечения и автоматически откроется страница «*Output*» (Puc.3.). Без настройки это изображение будет не четким: содержать много шума, края включений и самого объекта четко не очерчены и возможно не совпадают с действительным объектом по геометрической форме. Но об этом позже. На данном этапе выполним настройку на странице «*Output*».

4. Выбор динамического диапазона изображения.

Все градации серого укладываются в окно гистограммы, которая может быть представлена в логарифмическом и обычном виде: двойной клик левой кнопки мыши на гистограмме переключает эти два режима. Правая линия указывает на том, где должна быть граница и определяет, что принять

83

за абсолютно белый. Чаще, ее устанавливают так, как показано на рис. 7, в таком режиме выдержан баланс.



Рисунок 7 – Гистограмма градаций серого

Под гистограммой имеется область 0.003763 ... 0.028653 , нажав на которую всплывает окно «Userinput» (Рис.8)

User input		
M.	Change dynamic image range	
	Minimal value (in atten. coeff.): 0.003763	
	New value: 0.003763	
	Maximal value (in atten. coeff.): 0.028653	
	New value: 0.028653	
	OK Cancel	

Рисунок 8 – Окно изменения диапазона динамических изображений

В строке минимального значения (Minimalvalue) рекомендуется выставить нуль и его придерживаться, нажать на кнопку «OK».

5. Создать область интереса.

Область интереса разграничивает активную и не активную часть изображения, другими словами, все, что находится за областью интереса, будет проигнорировано программой при реконструкции.

Для этого, нужно активировать «*UseROI*», после чего станет активной кнопка Square . Она задает геометрический параметр области, по умолчанию «*Square*». Рекомендуется выбирать область интереса исходя из

геометрии самого объекта. Размеры области можно изменить при помощи левой кнопки мыши.

6. Запустить шкалу изображения

Для этого, нужно активировать «*ScalesON*», этой функцией можно пренебречь, она устанавливается на усмотрение.

7. Изменить выходную папку

По умолчанию выходной папкой является входная папка. Нажав на кнопку **В**юже можно это изменить, при необходимости.

8. Установка формата

В строке «File format» выбираем «ВМР(8)», большего формата не требуется.

2.4 Настройка параметров изображений

Для настройки непосредственно качества самого изображения необходимо вернуться на страницу «*Start*». В области отображения изображения опять появится теневая проекция.

Настраивать параметры реконструкции вручную методом проб и ошибок, долгий процесс, но функция«*Finetuning*» упрощает эту задачу. Для настройки нужно:

1. На странице «Start» выбрать функцию «Fine tuning»

Функция «*Fine tuning*» (Рис.9) создана для того, чтобы сделать регулировку параметров несколько проще, посредством запуска серии предпросмотров.

Parameter fine-tuning		
¢\$¢	Tune a parameter by trial reconstructions Post-alignment (6.0) Beam-hardening correction (45) Ring-artifacts reduction (1) Smoothing (10)	
	Number of trials: 5	
	[Start] Cancel	

Рисунок 9 – Окно тонкой настройки

Можно отрегулировать один параметр за раз, оставляя остальные параметры фиксированными. Таким способом можно настроить 4 параметра:

2. Настройка параметра «Post-alignment» (пост-регулировка)

Это очень важный параметр, так как неправильная компенсация регулировки будет приводить к хвостам, двоению или размытию на реконструированном изображении. То есть необходимо центрировать все слои. Программа автоматически высчитывает это значение при запуске, но порой оно нуждается в корректировке. Допустимый диапазон изменения параметра не ограничен, обычно его задают в пределах от 5 до 7.

В появившемся окне выбрать «Post-alignment». В строках «Number of trials» (количество испытаний) и «Parameter step» (шаг) задать эти параметры, либо оставить предложенный программой. Нажать на кнопку «Start».

На экране снова откроется страница «*Output*» и изображения слоя реконструкции. Надпись **Fine-tune(post-alignment): 6.5 (4.5-8.5,+1.0)** показывает значение регулируемого параметра. При помощи кнопок **М М** прокручивая изображения с разным значением параметра выбрать оптимальный

86

(«оставить» прокрутку на этом изображении) при котором края изображения четкие и не имеют раздвоение.

На странице «Settings» параметр «Misaligment compensation» автоматически примет значение параметра «Post-alignment». Так же его можно подправить и на этой странице, нажав кнопку . На экране появится график, черной сплошной линией обозначается профиль нулевой проекции, а пунктирной зеленой – зеркальный профиль на 180^{ти} градусах. Совпадение этих линий указывает на точность настройки.

3. Настройка параметра *«Beam-hardening correction»* (коррекция ужесточения пучка)

Эта опция компенсирует эффект ужесточения пучка линейным преобразованием в программе. Глубину коррекции (0, 1, ..., 100) можно выбрать в соответствии с плотностью объекта.

По подобию пункта 2 данного раздела настроить этот параметр, за одним исключением. При прокрутке изображений выбрать оптимальный параметр опираясь не только на индивидуальные предпочтения, но и запустив диаграмму профиля. Для этого зажав правую кнопку мыши, прочертить линию через изображение объекта (Puc. 10). Так же рекомендуется изменить цвет в окне «*Color*» на «*Color 1*».



Рисунок 10 – Окно профиля

Прокручивая изображения кнопками **М** выбрать то значение параметра, где «завалы» на графике минимальные, то есть первый и последний пики графика сглажены, а цвет изображения более-менее однородный. Не стоит переусердствовать с этим параметром, когда изображение, как бы, «выпучивает» и график выгибается в другую сторону. Рекомендуется выбирать оптимальное значение от 8% до 12%.

4. Настройка параметра «*Ring-artifacts reduction*» (устранение дефектных пикселей).

Эта опция устраняет кольцевые артефакты (симметричные объекты или объекты цилиндрической формы). Диапазон изменения от 1 до 20. Этими позициями задается глубина коррекции от быстрого расчета до более точного расчета карты коррекций.

Настройка этого параметра осуществляется по принципу предыдущего пункта. Опираясь на график, который с каждым значением сглаживается и само изображение выбрать оптимальный вариант значения параметра. Не рекомендуется использовать не оправданно большие значения, так как это может привести к размытию изображения, а так же могут появится круги от плотных включений в объекте в неожиданных местах. Оптимальное значение от 6 до 8.

5. Настройка параметра «Smoothing» (сглаживание).

Данная опция применяется для исходных проекций. Она сглаживает каждый пиксел на проекционном изображении. Это уменьшает шум, но может привести к размытию тонких структур, включений или пор. Уровень сглаживания имеет диапазон 1...10. В настройке главное определиться, какими включениями можно пренебречь, а какие должны быть видны и важны при работе.

Настройка определяется по подобию, как и с другими параметрами. Оптимальное значение для данного объекта от 2 до 3.

88

При настройке любого параметра необходимо принимать во внимание допустимый диапазон изменения параметра.

Всю настройку проверяем так же запустив предспросмотр функцией *«Preview»* на странице *«Start»*.

2.5 Реконструкция сечений

После выполнения необходимой настройки можно приступить к реконструкции.

- 1. На странице «*Start*» проверяем выставленный диапазон слоёв для реконструкции объёма в полях «*Top*» и «*Botton*».
- 2. Задаем шаг реконструкции.

Если данные реконструкции будут переданы другим программа для дальнейшего анализа, рекомендуется выставлять шаг в графе «*Step*» равный 1. Если же для других целей (учебных) можно поставить шаг 10, так как время реконструкции значительно сократится.

3. Нажать кнопку «*Start*», запустив процесс реконструкции.

Данные реконструкции будут храниться в той папке, которую вы указали на странице «*Output*» нажав на кнопку Воже.

4. Просмотр сечений.

При реконструкции становится активным окно «Summary». Там же отображены все параметры реконструкции. В области отображения изображений появятся реконструированные данные. Кнопками и и и их можно прокрутить и посмотреть каждый из слоев, либо открыть папку куда они были сохранены.

5. Закрытие программы.

После окончания работы программа может быть закрыта нажатием на красный крестик в углу, либо «Action» → «Exit».