

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка алгоритмов для обработки данных ультразвуковых измерений в пакете программ MATLAB

УДК 681.88:534-8:004.42:004.942

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б81	Балданова Ирина Доржиевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Гаранин Георгий Викторович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Склярова Елена Александровна	к.п.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
УК(У) -4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способностью использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке).
ОПК(У)-2	Способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.
ОПК(У)-3	Способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

ОПК(У)-4	Способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способностью использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
ОПК(У)-6	Способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способностью использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способностью получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.
ПК(У) -3	Готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований.
ПК(У)-4	Способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин.
ПК(У)-5	Способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований.
ПК(У)-6	Способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способностью участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме.
ПК(У)-8	Способностью понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования.

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Склярова Е.А.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б81	Балдановой Ирине Доржиевне

Тема работы:

Разработка алгоритмов для обработки данных ультразвуковых измерений в пакете программ MATLAB	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Алгоритмы обработки данных DECAУ и TOF, ранее измеренные данные коэффициента затухания и скорости продольной волны на установке ультразвукового контроля в твердых телах</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Обзор литературных источников; - Разработка алгоритма обработки и сравнения данных ультразвукового анализа твердого тела; - Реализация алгоритма в программном пакете MATLAB; - Апробация разработанного алгоритма; - Социальная ответственность; - Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Екатерина Валентиновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Гаранин Георгий Викторович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б81	Балданова Ирина Доржиевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ81	Балданова Ирина Доржиевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Максимальный бюджет НИ – 204631 руб. Затраты на заработную плату – 112887 руб. Контрагентные расходы – 1225 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент Тариф на электроэнергию 5.8 кВт·ч
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды – 45877 руб. Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 30% Накладные расходы – 27570 руб.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализа: выявление потенциальных клиентов, SWOT анализ, определение возможных альтернатив проведения НИИ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение трудоёмкости работ для НИИ, разработка графика проведения НИИ (диаграмма Ганта), составление бюджета НИИ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИИ. - Интегральный показатель ресурсоэффективности 4.55

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ81	Балданова Ирина Доржиевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО		
ОБ81	Балданова Ирина Доржиевна		
Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Разработка алгоритмов для обработки данных ультразвуковых измерений в пакете программ MATLAB	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> разработка алгоритмов для обработки данных ультразвуковых измерений</p> <p><i>Область применения:</i> ультразвуковой метод неразрушающего контроля</p> <p><i>Рабочая зона:</i> офисное помещение</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 37 м²</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 1 персональный компьютер</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> алгоритмическая и программная разработка с использованием персонального компьютера</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022); – ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – ГОСТ 12.2.049–80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; – ГОСТ 22269–76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – ГОСТ 21889–76. Система «человек-машина». Кресло-человека-оператора. Общие эргономические требования. – СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
<p>2. Производственная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны; – перенапряжение зрительных анализаторов; – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень статического электричества; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание; – статические физические перегрузки.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия при работе на ПЭВМ на атмосферу, гидросферу и литосферу; – наличие отходов (компьютерная техника, бумага, канцелярия и т. д.); – методы утилизации отходов.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар на рабочем месте, землетрясение, наводнение Наиболее типичная ЧС: пожар на рабочем месте
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ81	Балданова Ирина Доржиевна		

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования Бакалавриат

Направление подготовки – Физика конденсированного состояния

Отделение школы (НОЦ) – Отделение экспериментальной физики

Период выполнения осенний/весенний семестр 20 /20 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.09.2021	Формулировка задачи проектирования	10
13.09.2021	Аналитический обзор литературы	15
04.10.2021	Разработка алгоритма	20
28.02.2022	Апробация разработанного алгоритма	10
25.04.2022	Анализ результатов	10
16.05.2022	Социальная ответственность	15
23.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
30.05.2022	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Гаранин Георгий Викторович	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Склярова Елена Александровна	к.п.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 131 страниц, 67 рисунков, 20 таблиц, 38 литературных источников, 2 приложения.

Ключевые слова: ультразвуковые методы неразрушающего контроля, коэффициент затухания продольной волны, скорость продольной волны, MATLAB, разработка алгоритма.

Объектом исследований являлись данные неразрушающего ультразвукового контроля, полученные на установке ультразвукового анализа твердого тела.

Целью работы: разработка функций в пакете MATLAB для автоматизации операций обработки и сравнения результатов измерений, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела.

Результаты работы будут включены в пакет функций для дальнейшего использования при обработке данных, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела.

Оглавление

Реферат	10
Введение	15
1. Теоретический материал.....	17
1.1. Ультразвуковые методы неразрушающего контроля.....	17
1.2. Основные принципы ультразвукового контроля.....	19
1.3. Оборудование ультразвукового неразрушающего контроля.....	21
1.4. Применение ультразвукового неразрушающего контроля	22
1.5. Ультразвуковые измерения иммерсионном способом	24
1.5.1. Определение скорости продольной волны в образцах функцией TOF (времяпролетный метод)	24
1.5.2. Определение коэффициента затухания продольной волны в образцах функцией DECAУ (импульсный метод).....	25
1.6. Пакет программ MATLAB	26
2. Разработка алгоритма для программного обеспечения.....	27
2.1. Выделение границ массива (создание маски)	28
2.2. Сглаживание массива.....	28
2.3. Работа с массивом измерений функций DECAУ и TOF	28
3. Реализация алгоритма для программного обеспечения	30
3.1. Создание маски.....	30
3.1.1 Устранение одиночных значений в массиве (шумы)	30
3.1.2. Преобразование в бинарную матрицу и выделение границ	30
3.1.3. Заполнение области внутри границы и устранение оставшихся шумов (1 вариант).....	32
3.1.4. Заполнение области внутри границы и устранение оставшихся шумов (2 вариант).....	36
3.1.5. Создание конечной маски.....	37
3.2. Наложение маски на массив измерений	38
3.3. Сглаживание. Алгоритм фильтрации	39
3.3.1. Использование фильтра 'average'	41
3.3.2. Использование фильтра 'disk'.....	42
3.3.3. Использование фильтра 'gaussian'.....	43
3.4. Разность между сглаженными и исходными данными функции DECAУ	

3.5. Другие способы сглаживания или подбор оптимального параметра	55
3.5.1. Критерий хи-квадрат	55
3.5.2. Метод интерполяции.....	57
3.5.3. Распределение Пуассона	60
3.6. Суммирование исследуемого материала для сглаживания	62
3.7. Выделение центра сглаженного материала для дальнейшей работы с данными	64
4. Анализ данных	67
4.1. Результаты обработки массива данных функции DECAУ	67
4.1.1. Образцы с равномерными входными значениями	67
4.1.2. Образцы с небольшими дефектами.....	68
4.1.3. Образцы с наибольшими дефектами	69
4.2. Расчет среднего значения и квадратичного отклонения массива данных функции DECAУ	69
4.3. Обработка массива данных функции TOF	71
4.3.1. Добавление значений поверхностного и первого донного сигнала	72
4.3.2. Наложение маски и сглаживание массива данных функции TOF.....	73
4.3.3. Нахождение центров массива данных функции TOF	75
4.3.4. Нахождение углов между нормальными точками в массиве значений функции TOF	77
4.3.5. Вычисление коэффициента корректировки	81
4.4. Сравнение результатов измерений среднего значения коэффициента затухания с учетом и без коэффициента корректировки.....	87
5. Социальная ответственность	88
Введение по разделу.....	88
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
5.1.1. Правовые нормы трудового законодательства	88
5.1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	89
5.2. Производственная безопасность	90
5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке программы.....	90
5.2.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	91
5.2.2.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	91

5.2.2.2.	Перенапряжение зрительных анализаторов	92
5.2.2.3.	Отклонение показателей микроклимата	93
5.2.2.4.	Повышенный уровень шума	94
5.2.2.5.	Повышенный уровень статического электричества	95
5.2.2.6.	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание 95	
5.3.	Экологическая безопасность	96
5.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	97
5.5.	Выводы по разделу	98
6.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	99
	Введение по разделу.....	99
6.1.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности	99
6.1.1.	Потенциальные потребители результатов исследования	99
6.1.2.	Анализ конкурентных технических решений	100
6.1.3.	SWOT-анализ.....	101
6.2.	Планирование научно-исследовательских работ.....	102
6.2.1.	Определение трудоемкости выполнения работ	102
6.2.2.	Разработка графика проведения научного исследования	103
6.3.	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	105
6.3.1	Расчет материальных затрат НТИ	105
6.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	106
6.3.3.	Основная заработная плата	107
6.3.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	109
6.3.5.	Отчисления во внебюджетные фонды	109
6.3.6.	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	110
6.3.7.	Накладные расходы	110
6.3.8.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	110
6.4.	Оценка эффективности проекта	111
6.5.	Заключение по разделу.....	113
	Заключение.....	114

Список Литературы.....	115
Приложение 1.....	118
Приложение 2.....	124

Введение

В данной работе рассматривается акустический метод неразрушающего контроля. Данный метод основан на анализе процесса распространения ультразвуковых колебаний в контролируемых объектах, с помощью которого можно определить такие характеристики материала объекта, как коэффициент затухания и скорость продольной волны.

Одним из ограничений ультразвукового контроля является, что при измерении данных наличие шумов, нечетких границ материала, искажение данных на границах образца, не равномерное распределение значений в некоторых участках массива данных, а также возникновение систематической ошибки, которая заключается в боковом рассеянии ультразвуковой волны при отражении на верхней и нижней поверхностях контролируемых образцов, что оказывают влияние на результат контроля и затрудняет его интерпретацию. Решением данной проблемы является создание программного обеспечения, которое сможет автоматизировать операции обработки результатов измерений.

Целью данной работы является разработка функций в пакете MATLAB, которые позволяют автоматизировать операции обработки и сравнения результатов измерений, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Анализ методов и способов обработки и сравнения данных, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела.
2. Разработка алгоритмов обработки и сравнения данных, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела, и их реализация в виде функции в программном пакете MATLAB.

3. Апробация разработанных функций для обработки экспериментальных данных.

1. Теоретический материал

1.1. Ультразвуковые методы неразрушающего контроля

Ультразвуковой контроль – использование свойства ультразвуковых волн, распространяющихся в среде, для определения свойств и характеристик среды распространения.

Ультразвук — звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, обычно, под ультразвуком понимают частоты выше 20 000 герц.

Одной из основных особенностей ультразвука является его ослабление. Затухание ультразвука является уменьшением амплитуды, и поэтому интенсивность распространения акустической волны уменьшается. Ультразвук ослабляется по целому ряду причин [1]. Основные из них:

- Из-за формы источника и размера волны амплитуда волны уменьшается с расстоянием от источника;
- Рассеяние ультразвуковых волн, вызванное неравномерностью среды, благодаря чему поток энергии в исходном направлении распространения уменьшается;
- Ультразвуковое поглощение, акустическая энергия необратимо преобразуется в другие формы, особенно тепло.

Свойства ультразвука неотличимы от волн слышимого диапазона и следует тем же физическим законам. Ультразвук обладает определенными характеристиками, которые определяют его научно-техническое применение.

Основные моменты заключаются в следующем:

- Низкая длина волны. Для самого низкого диапазона ультразвука длина волны не превышает нескольких сантиметров в большинстве сред.

- Небольшой период колебаний, который позволяет испускать ультразвуковое излучение в виде импульса.
- Возможность получения высоких значений интенсивности колебаний при малых амплитудах, поскольку энергия колебаний пропорциональна квадрату частоты. Это позволяет создавать ультразвуковые лучи и поля с высоким уровнем энергии без необходимости в мощном оборудовании.
- Ультразвуковые поля развивают значительный акустический поток, поэтому воздействие ультразвука на окружающую среду создает особые физические, химические, биологические и медицинские эффекты, такие как кавитация, капиллярные эффекты, дисперсия, эмульгирование, дезактивация, дезинфекция, местное нагревание и многие другие [1].

Звуковые волны не изменяют траектории в однородных материалах. Отражение звуковых волн обусловлено разделением среды с различным удельным импедансом. Чем больше акустический импеданс, тем большая часть акустических волн отражается от поверхности.

Разрешение акустических измерений, то есть способность обнаруживать небольшие дефекты, отличающиеся друг от друга, определяется длиной звуковых волн, а длина звуковых волн зависит от частоты введенных акустических колебаний. Чем выше частота, тем меньше длина волны. Эффект связан с тем, что, когда препятствие меньше четверти длины волны, почти нет отражения колебаний, и дифракция доминирует. Таким образом, в целом частота ультразвука, применяемого в неразрушающем контроле, имеет тенденцию к увеличению [2]. С другой стороны, по мере увеличения частоты колебаний, ее затухание быстро возрастает, тем самым уменьшая возможную область контроля.

Есть несколько способов возбудить ультразвук в объекте исследования. Наиболее распространенным является использование пьезоэлектрических эффектов. В этом случае ультразвуковая волна передается через

преобразователь, который преобразует электрические колебания в акустические волны за счет обратного пьезоэлектрического эффекта [3]. Через контролируемую среду сигнал пьезоэлектрической пластины, попавшей в преобразователь, снова электрически из-за прямого пьезоэлектрического эффекта, который регистрируется измерительной схемой. Согласно конструкции и соединению, пьезоэлектрический преобразователь может играть не только роль ультразвукового генератора, но может играть и роль приемника, или одновременно выполнять обе функции [4].

Используются также методы электромагнитной акустики, основанные на применении сильных магнитных полей металлов. Эффективность этого метода намного ниже, чем пьезоэлектрический КПД, но датчики этого типа могут работать через воздушный зазор и не предъявляют особых требований к качеству поверхности [5].

1.2. Основные принципы ультразвукового контроля

Существует много типов ультразвуковых дефектоскопов, но фактически в процессе контроля наиболее часто применяется ультразвуковой дефектоскоп с импульсным отражением для контроля однородных материалов. Наличие дефектов приведет к тому, что материал не будет монолитным, и дефект будет выявлен ультразвуком, чей импеданс будет отличаться от основного материала объекта контроля. Известно, что ультразвук на границе двух материалов с различным акустическим импедансом будет отражаться обратно. На регистрации этих отражений основан принцип работы импульсного ультразвукового дефектоскопа [6].

В настоящее время большая часть портативных импульсных ультразвуковых дефектоскопов в качестве результата контроля реализуют режим сканирования А, так называемый А-скан, на котором абсцисса дисплея представляет собой ультразвуковую волну (или эхо-сигнал) в тестируемом материале в течение времени распространения или расстояния распространения,

по оси ординат амплитуда отраженного ультразвукового сигнала. Глубина и форма отраженных волн отличаются из-за различных дефектов, отличающихся размером и ориентацией [7].

Преимущества ультразвукового контроля:

- Применяется для металлических, неметаллических и композиционных материалов;
- Проникающая способность, может быть, в больших пределах толщины образца. Например, для металлических материалов, можно контролировать толщину 1 ~ 2 мм для тонкостенных труб и пластин, и можно контролировать толщину до нескольких метров для стальных отливок;
- Точность обнаружения дефектов;
- Высокая чувствительность, может обнаружить очень маленькие дефекты;
- Дешевое, быстродействующее, и компактное оборудование безвредное для здоровья и окружающей среды.

Ограничения ультразвукового контроля:

- Дефекты образца для точного качественного количественного анализа все еще нуждаются в углубленном изучении;
- Трудности при ультразвуковом исследовании образцов сложной формы или неправильной формы;
- Положение, ориентация и форма дефекта оказывают некоторое влияние на результат контроля.
- Свойства контролируемого материала, размер зерна и т. д. оказывают большее влияние на результат контроля;
- Результаты широко используемого ручного метода отражения импульсов А-типа не интуитивны, и результаты испытаний прямо не засвидетельствованы [8].

1.3. Оборудование ультразвукового неразрушающего контроля

Для анализа свойств материалов могут использоваться различные ультразвуковые приборы. Изменения скорости ультразвука, степень его ослабления или рассеяния могут быть измерены современными цифровыми дефектоскопами. Генераторы импульсов/приемники с соответствующим дополнительным оборудованием, а также системы формирования акустических изображений с соответствующим программным обеспечением могут быть использованы для определения всех этих свойств и проведения спектрального анализа (частотной составляющей) ультразвуковых сигналов.

В данной работе полученные результаты контроля были измерены с помощью иммерсионного ультразвукового дефектоскопа.

Параметры установки:

- Область контроля (x, y): 300мм·300 мм
- Максимальная толщина измеряемого образца 50 мм
- Автоматическое сканирование
- Частота АЦП до 500 МГц
- Измеряемые частоты: 2.25 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 50 МГц



Рисунок 1.1. Система ультразвукового анализа твердого тела

1.4. Применение ультразвукового неразрушающего контроля

Ниже приводится обзор некоторых свойств материала, используемых для анализа и записи аналитических результатов, которые могут быть определены ультразвуком.

- Модуль упругости: модуль Юнга и модуль сдвига однородного не диспергируемого материала могут быть рассчитаны на основе измерения продольной и поперечной скорости ультразвука (и плотности материала). Использование волноводов обычно обеспечивает контроль объекта измерения при высоких температурах.
- Содержание шаровидного графита в чугунах: как концентрация включений графита в чугунах, так и их форма могут быть определены на основании измерений скорости ультразвука.
- Скорость в эпоксидной смоле и бетоне: скорость ультразвука в этих материалах зависит от отверждения; поэтому измерения скорости ультразвука могут быть связаны со степенью отверждения. Конкретный контроль обычно требует доступа к обеим сторонам контролируемого объекта для работы в

звуковом режиме.

- Концентрация жидкости: Соотношение смешивания двух жидкостей с различными скоростями ультразвука может быть связано со скоростью ультразвука в растворе при данной температуре.
- Плотность суспензии: коэффициент смешения жидкости/твердого вещества (например, бурового раствора и пульпы) при заданной температуре может быть связан со скоростью ультразвука и/или степенью его ослабления.
- Плотность керамики. Неравномерность не прокаленных и прокаленных керамических плотностей можно контролировать, измеряя скорость ультразвука.
- Продовольствие. Существует множество методов контроля, включая возраст яйца и картофеля, созревание плодов, содержание жира в мясе и процентное содержание твердых веществ в молоке. В общем, все эти средства контроля являются неразрушающими и экологически чистыми.
- Полимеризация полимеров. В пластмассах и других полимерах изменения в молекулярной структуре, такие как длина и ориентация полимерных цепей, часто приводят к соответствующему изменению скорости распада и затухания ультразвука.
- Размер и распределение частиц и пористости: изменения размера частиц или их распределения в твердых или жидких средах, а пористость влияет на амплитуду и частоту рассеянного ультразвука.
- Размер зерна в металлах: изменения размера зерна или ориентации металлов, таких как сталь, чугун и титан, вызывают изменения в амплитуде, направлении и / или частоте компонентов ультразвука.
- Анизотропия в твердых телах. Анизотропия может быть установлена и измерена с помощью изменения скорости ультразвука, рассеяния и / или затухания УЗ сигнала.
- Глубина упрочнения поверхности стали: Обратное рассеяние для высокочастотных поперечных ультразвуковых волн можно использовать для измерения глубины упрочнения поверхности стали.

- Измерение температуры. Измерение ультразвуковой температуры используется для измерения очень высоких температур (выше 3000 °С) путем контроля изменений скорости ультразвука в тестируемом объекте [1].

1.5. Ультразвуковые измерения иммерсионном способом

Иммерсионный способ является способ, при котором зонд не имеет прямого контакта с поверхностью объекта контроля. Вода используется как проводник ультразвукового излучения.

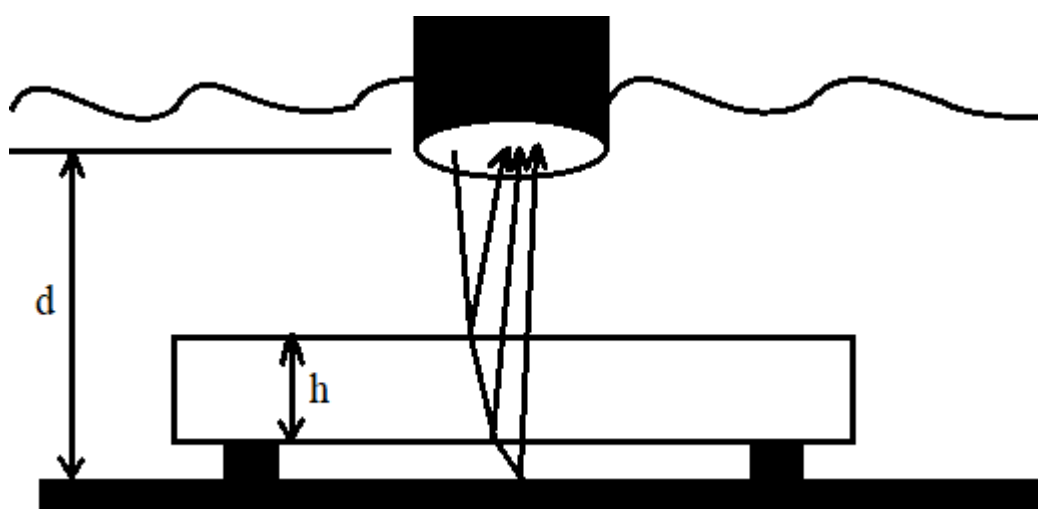


Рисунок 1.2. Иммерсионный способ

1.5.1. Определение скорости продольной волны в образцах функцией TOF (времяпролетный метод)

Функция TOF использует отражение ультразвуковых волн от границ раздела для определения скорости звука, или размеров и положения дефектов в объекте контроля. Ультразвуковая волна распространяется по объекту контроля, когда встречается дефект, он вызывает отраженную волну и дифрагированную волны. Датчик одновременно принимает отраженные волны и дифрагированные волны. Путем измерения времени распространения отраженной или дифрагированной волны, можно определить размер и расположение дефекта,

определить размер объекта контроля при известной скорости ультразвуковой волны, или определить скорость ультразвуковой волны при известных размерах объекта контроля.

В системе ультразвукового анализа твердого тела используются датчики с возбуждением продольной волны, потому что акустический контакт с объектом контроля обеспечивается с помощью иммерсионной жидкости – воды [1].

Скорость распространения волны V :

- время движения упругих импульсов от передатчика к продольной волне приемника;
- время прохождения импульса сдвига от передатчика к приемнику;
- время задержки импульса в устройстве и преобразователе, с.

Метод определения TOF использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Датчик одновременно принимает волны, отраженные от верхней поверхности образца и эхо сигналы от нижней поверхности образца. Путем измерения времени распространения отраженной волны, и зная толщину образца можно определить скорость ультразвука в образце [1].

1.5.2. Определение коэффициента затухания продольной волны в образцах функцией DECAУ (импульсный метод)

Импульсный метод – функция DECAУ – использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Путем измерения коэффициента затухания распространения отраженной волны, и зная толщину образца можно определить скорость затухания амплитуд эхо-сигналов.

Коэффициент затухания — это ослабление ультразвукового сигнала на единицу длины пути этого сигнала (дБ/см, Нп/мм). Коэффициент затухания увеличивается с увеличением частоты. Ультразвуковое затухание в материале зависит от коэффициента затухания и расстояния, пройденного ультразвуковым

сигналом. При введении ультразвукового сигнала в образец материала на экране дефектоскопа можно наблюдать серию затухающих эхо-сигналов [1].

1.6. Пакет программ MATLAB

Результат контроля, полученный установкой ультразвукового контроля в твердом теле, считывается с помощью программы MATLAB. Также в данной программе написаны готовые алгоритмы для функций DECAУ и TOF. В связи с этим разработанный алгоритм был написан в данной программе.

MATLAB — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. Пакет используют более миллиона инженерных и научных работников, он работает на большинстве современных операционных систем, включая Linux, macOS, Solaris и Windows.

Язык MATLAB является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования, включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

MATLAB предоставляет пользователю большое количество функций для анализа данных, покрывающие практически все области математики, в частности:

MATLAB предоставляет удобные средства для разработки алгоритмов, включая высокоуровневые с использованием концепций объектно-ориентированного программирования.

В составе пакета MATLAB имеется большое количество функций для построения графиков, в том числе трёхмерных, визуального анализа данных.

Для MATLAB имеется возможность создавать специальные наборы инструментов, расширяющие его функциональность. Наборы инструментов представляют собой коллекции функций и объектов, написанных на языке MATLAB для решения определённого класса задач [20].

2. Разработка алгоритма для программного обеспечения

Даны ранее измеренные результаты контроля скорости и коэффициента затухания продольной волны в плоских образцах. Данные обрабатываются в пакете MATLAB. Данные коэффициента затухания продольной волны были получены с помощью импульсного метода DECAУ. Данные скорости продольной волны были получены с помощью времяпролетного метода ТОF. Данные из файлов были считаны с помощью готовых алгоритмов функций DECAУ и ТОF.

Массив данных, полученный с помощью функцией DECAУ (далее функция DECAУ), содержит значения коэффициента затухания ультразвуковой волны. Обработка данного массива значений заключается в следующем:

- Нахождение границ материала (создание маски)
- Произвести сглаживание массива
- Найти среднее значение коэффициента затухания

Массив данных, полученный с помощью функции ТОF (далее функция ТОF), содержит данные для скорости ультразвуковой волны. Обработка данного массива значений заключается в нахождении коэффициента корректировки, который заключается в угловом отклонении продольной волны в образце. То есть при прохождении волны через поверхности образца вектор нормали в точке поверхностей образца, где прошла волна, отклоняется на некоторый угол относительно перпендикуляра к поверхности образца (рисунок 2.1). Так как значение скорости продольной волны не изменяется сильно, датчик ультразвукового дефектоскопа может принять сигнал, который отразился от верхней и нижней поверхностей образца, поэтому можно вычислить коэффициент корректировки. При умножении данного коэффициента на массив

значений коэффициента затухания функции DECAУ можно вычислить значения коэффициента затухания, которые более приближены к достоверным данным.

Для того чтобы обработать массив измерений функции ТОF нужно:

- Наложить на массив маску
- Произвести сглаживание
- Вычислить коэффициент корректировки
- Рассчитать среднее значение коэффициента затухания с учетом коэффициента затухания

2.1. Выделение границ массива (создание маски)

Этапы выделения границ массива:

- Устранение одиночных значений в массиве
- Преобразование массива в бинарную матрицу
- Определение точных границ, сводящих к форме образца

2.2. Сглаживание массива

Сглаживание можно произвести с помощью обработки цветных изображений, а именно операции фильтрации.

2.3. Работа с массивом измерений функций DECAУ и ТОF

Нужно рассчитать среднее значение коэффициента затухания. Для расчета данной характеристики нужно воспользоваться массивом значений функции DECAУ. Массив значений функции ТОF нужен для того, чтобы рассчитать коэффициент корректировки, который заключается в устранении углового отклонения, которое появляется при прохождении ультразвуковой волны через верхнюю и нижнюю поверхности образца. Этапы:

- Рассчитать среднее значение коэффициента затухания до

использования коэффициента корректировки

- Рассчитать коэффициент корректировки
- Рассчитать среднее значение коэффициента затухания с учетом коэффициента корректировки

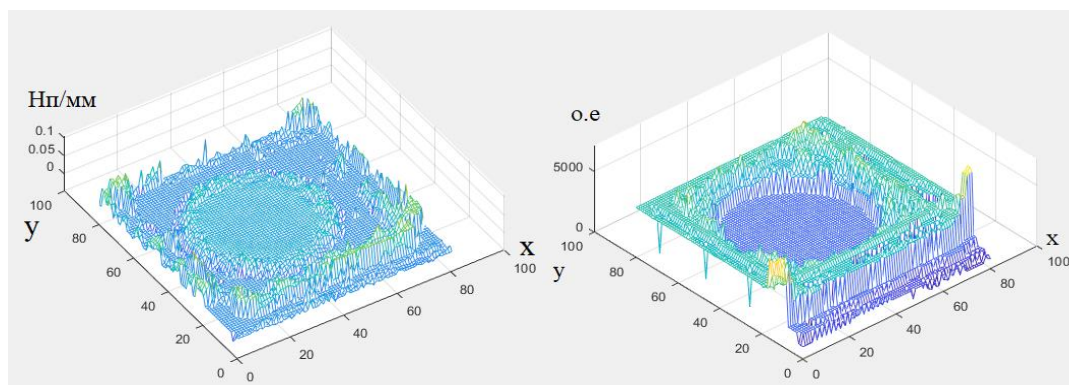


Рисунок 2.1. входные данные а) массива функции DECAУ; б) массива функции TOF

Размерность результатов измерений скорости продольной волны Нп/мм и коэффициента затухания продольной волны о.е. По оси x и y область контроля в мм.

Этапы расчета коэффициента корректировки:

- Обработка массива данных функции TOF (наложение маски, сглаживание, выделение центра данных)
- Нахождение нормали каждой точки, расчет углов между векторами нормали и перпендикуляром к образцу
- Вычисление углового отклонения (косинуса угла) для верхней и нижней поверхностей

3. Реализация алгоритма для программного обеспечения

3.1. Создание маски

Для того чтобы получить маску нужно:

- выделить границы массива
- заполнить область внутри границы
- устранить шумы.

3.1.1 Устранение одиночных значений в массиве (шумы)

Изначально мы имеем массив данных, где есть определенные значения и нули, то есть места, где отсутствует материал. Но также имеются одиночные значения, которые определяются как «шумы». Для того, чтобы определить границы материала, нам нужно избавиться от этих шумов. Для этого мы создаем новую матрицу значений, и отбираем туда уже значения без «шумов». Мы имеем матрицу размерностью 81*81*4.

```
new_full_decay=full_decay;
for i=1:4
    layer=full_decay(:,:,i);
    for j=1:81
        column=layer(:,j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if noise(k, j, layer)==1
                full_decay(k, j, i)=0;
            end
        end
    end
end
end
```

3.1.2. Преобразование в бинарную матрицу и выделение границ

Для того чтобы нам было выделить границы, легче всего будет преобразовать матрицу в бинарную. Бинарная матрица - матрица, которая состоит из двух значений нулей и единиц. И тогда с помощью функции `A=edge(B, 'canny')` уже будет легче преобразовать в матрицу, где только значения единиц очерчивают границу [9].

```
function is_alone = noise(x,y,matrix)
    is_alone=1;
```

```

    for i=-1:1
        for j=-1:1
            if (x+i>=1) && (x+i<=81) && (y+j>=1) && (y+j<=81)
                if (i ~= 0) && (j~=0) && (matrix(x+i,y+j)>0)
                    is_alone=0;
                end
            end
        end
    end
end \\преобразование в бинарную матрицу

```

```

>> x=new_full_decay(:,:,1);
>> y=new_full_decay(:,:,2);
>> z=new_full_decay(:,:,3);\\разделяем на три плоскости массив
>> d1=edge(x,'canny');
>> d2=edge(y,'canny');
>> d3=edge(z,'canny');\\выделение границ
>> figure; imshow(d1)
>> figure; imshow(d2)
>> figure; imshow(d3)\\отражение

```



Рисунок 3.1. d1 (матрица, выделенная с помощью функции edge)

открытый контур



Рисунок 3.2. d2 (матрица, выделенная с помощью функции edge)

открытый контур



Рисунок 3.3. d3 (матрица, выделенная с помощью функции edge)
закрытый контур

3.1.3. Заполнение области внутри границы и устранение оставшихся шумов (1 вариант)

На рисунках, представленных выше, видно, что не везде контур замыкается до конца и также присутствуют шумы.

Для рисунков, где контур замыкается, чтобы заполнить область внутри подойдет следующая функция `imfill`, которая заполняет «дыры» внутри закрытого пространства [9]:

```
>> f1=imfill(d1,'holes');  
>> f2=imfill(d2,'holes');  
>> f3=imfill(d3,'holes');\\ заполнение области внутри контура  
>> figure; imshow(f1)  
>> figure; imshow(f2)  
>> figure; imshow(f3)
```

Для областей, где контур не замыкается, эта функция не подойдет (рисунок 3.4,3.5).



Рисунок 3.4. f1 (матрица, не заполненная внутри контура)



Рисунок 3.5. f_2 (матрица, не заполненная внутри контура)

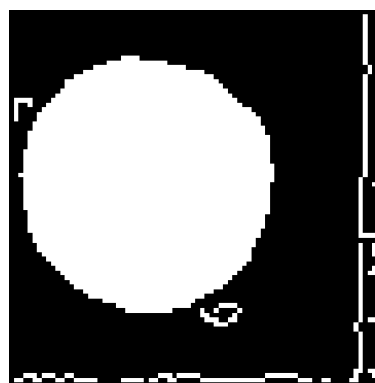


Рисунок 3.6. f_3 (матрица, заполненная внутри контура)

Из рисунков 3.4–3.6 видно, что не все контура заполнились так как были не полностью замкнуты, и остались везде шумы.

Для этого воспользуемся функциями `imclose`, `imopen`, которые замыкают и размыкают поверхности, то есть являются сглаживающими функциями, также эффективно удаляя шумы.

Функция `imopen` - операция открытия заключается в выполнении операции коррозии сначала на изображении, а операция расширения на изображении [9].

Функция: удаление всех деталей, которые не могут содержать структурные элементы, сглаживание целевого контура, отсоединение тонких соединительных деталей и удаление тонких выступов.

Функция `imclose` - операция закрытия заключается в том, чтобы сначала развернуть изображение, а затем разрушить изображение.

Функция: сгладьте очертания цели, соедините узкие трещины и заполните тонкую «гавань», а также заполните небольшие отверстия замкнутой конструкции [9].

Чтобы воспользоваться этими функциями нам нужно создать бинарную матрицу из 0 и 1, которая образует структурообразующий элемент. Для этого мы используем strel-объект (SE).

```
>> se=strel('square',20);
```

Стоит учесть какую функцию нужно использовать для определенных матриц.

Например, матрица f1 (рисунок 3.4) не имеет четкого контура, тогда мы используем сначала функцию imclose, а затем imopen:

```
>> f10=imclose(f1,se);  
>> figure; imshow(f10)  
>> f100=imopen(f10,se);  
>> figure; imshow(f100)
```



Рисунок 3.7. f10 (использование операции imclose над матрицей f1)



Рисунок 3.8. f100 (использование операции imopen над матрицей f10)

Если же сначала использовать функцию imopen, тогда у нас ничего не

остается, матрица становится нулевой.

```
>> f10=imopen(f1,se);  
>> figure; imshow(f10)
```



Рисунок 3.9. f10 (использование операции imopen над матрицей f1)

Если контур не закрытый, не всегда удастся отделить его от шумов. Например, когда мы рассматриваем вторую плоскость. Действуя по той же схеме, получается следующий результат:

```
>> f20=imclose(f2,se);  
>> figure; imshow(f20)  
>> f200=imopen(f20,se);  
>> figure; imshow(f200)
```



Рисунок 3.10. f20 (использование операции imclose над матрицей f2)



Рисунок 3.11. f200 (использование операции imopen над матрицей f20)

Из рисунков 3.10, 3.11 видно, что выделяется лишняя область,

образованная шумами.

Для закрытых контуров все иначе. Используется только одна функция `imopen`:

```
>> f30=imopen(f3,se);  
>> figure; imshow(f30)
```

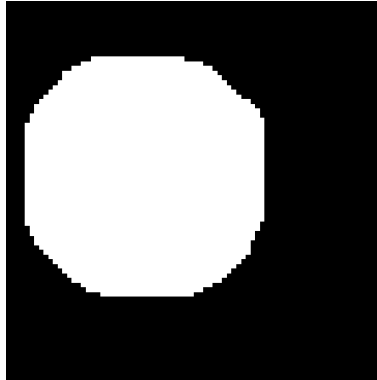


Рисунок 3.12. `f30` (использование операции `imopen` над матрицей `f3`)

3.1.4. Заполнение области внутри границы и устранение оставшихся шумов (2 вариант).

Есть второй вариант как можно выделить границы. Вместо функции `A=edge(B,'canny')` будем использовать `A=bwmorph(B,'close')` [9]. Она выделяет и заполняет границы, но не убирает шум. Шум можно будет убрать также с помощью функции `imopen`.

```
>> n=bwmorph(x,'close'); \\выделение и заполнение объекта  
>> figure; imshow(n)
```



Рисунок 3.13. `n` (матрица, выполненная с помощью функции `bwmorph`)

Далее мы сразу применяем функцию `imopen` так как у нас везде контур уже закрытый.

```
>> f10=imopen(n,se);  
>> figure; imshow(f10)
```

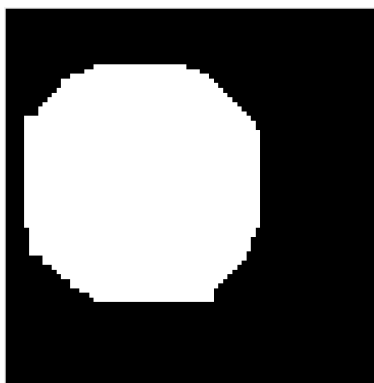


Рисунок 3.16. f_{10} (использование операции imopen над матрицей f_1)

3.1.5. Создание конечной маски

Если при использовании функции $A = \text{edge}(B, 'canny')$ получается закрытый контур объекта, тогда этот способ будет более точен для выделения границ и удаления шумов. Но для открытых контуров этот метод является не самым эффективным.

Поэтому для открытых контуров лучше использовать функцию $A = \text{bwmorph}(B, 'close')$, так как будет более точное определение области.

Но для закрытых контуров этот способ будет немного отличаться точностью.

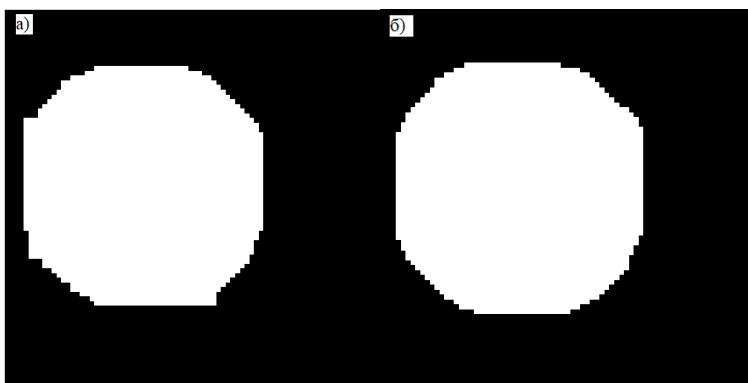


Рисунок 3.19. а) метод выделения границ с помощью функции bwmorph для закрытого контура; б) выделение с помощью функции edge для закрытого контура.

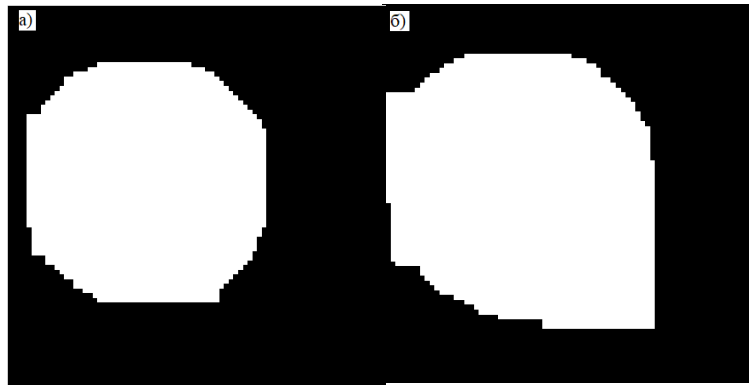


Рисунок 3.20. а) метод выделения границ с помощью функции `bwtoph` для открытого контура; б) выделение с помощью функции `edge` для открытого контура.

Ранее были рассмотрены два варианта получения маски. Для повышения эффективности были объединены оба варианта для создания маски. Для этого перемножаем две получившиеся маски и получаем одну общую (рисунок 3.21).

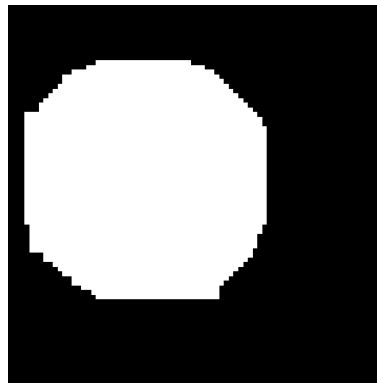


Рисунок 3.21. Итоговая маска, полученная из матриц двух разных методов для одной плоскости

3.2. Наложение маски на массив измерений

Так как нужна одна маска для одного массива данных, воспользуемся маской для плоскости x , и наложим на все данные по всем плоскостям.

Для удобства объединяем несколько вышеупомянутых операций в одну команду в `script`-файл:

```
x=new_full_decay(:,:,1);\\разделение на плоскость x
figure; mesh(x)\\отображение начальных данных
d1=edge(x,'canny');\\выделение границ 1 методом
f1=imfill(d1,'holes');\\заполнение области внутри границы
se=strel('square',20);\\создание единичной матрицы
f10=imclose(f1,se);
```

```

f100=imopen(f10,se);\удаление шумов
n=bwmorph(x,'close');\выделение границы 2 методом
f2=imfill(n,'holes');\заполнение области внутри границы
g1=imopen(f2,se);\удаление шумов
h1=f100.*g1;\перемножение двух методов, получение итоговой маски
full_decay_clean=zeros(81,81,4);
full_decay_clean(:,:,1)=h1;
full_decay_clean(:,:,2)=h1;
full_decay_clean(:,:,3)=h1;
full_decay_clean(:,:,4)=h1;
full_decay_clean_end=new_full_decay.*full_decay_clean;\наложение
маски на исходные данные
figure; mesh(full_decay_clean_end(:,:,1))\отображение обработанных
данных

```

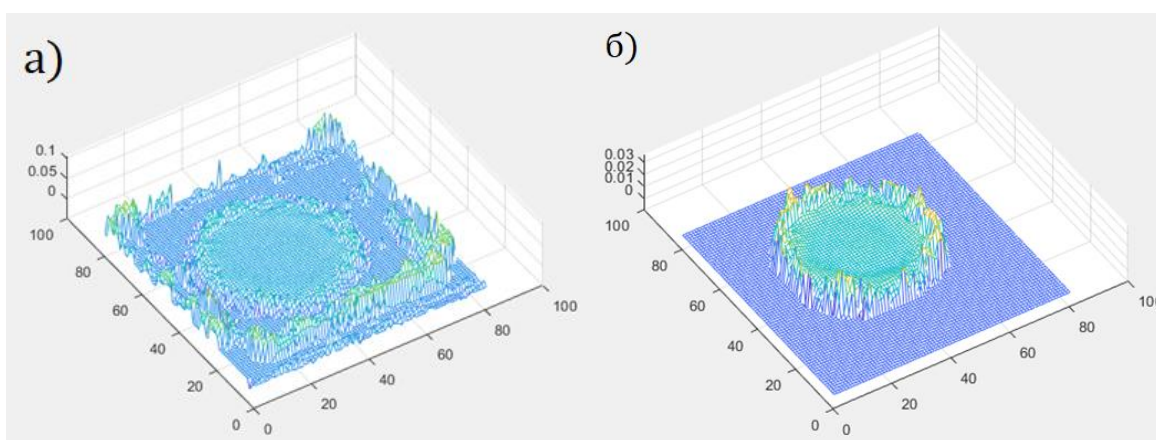


Рисунок 3.22. а) входные данные функции DECAU; б) данные функции DECAU с маской.

3.3. Сглаживание. Алгоритм фильтрации

Фильтрация — это применение к изображению некой функции. Операцию фильтрации называют свёрткой. Выполняется она следующим образом. Представьте, что есть картинка в пространственной области и есть фильтр (он же — маска) — некоторая функция. В дискретном случае это массив со значениями. Мы накладываем эту маску на кусок изображения. Тогда значение пиксела, расположенного под центральным элементом маски, вычисляется как взвешенная сумма значений пикселей, перемноженных на значения маски. То есть, накладываем маску на картинку и значение в пикселе, который под центром, вычисляется как значение пиксела, умноженное на коэффициент маски плюс значение, помноженное на коэффициент в другом месте и так далее [9].

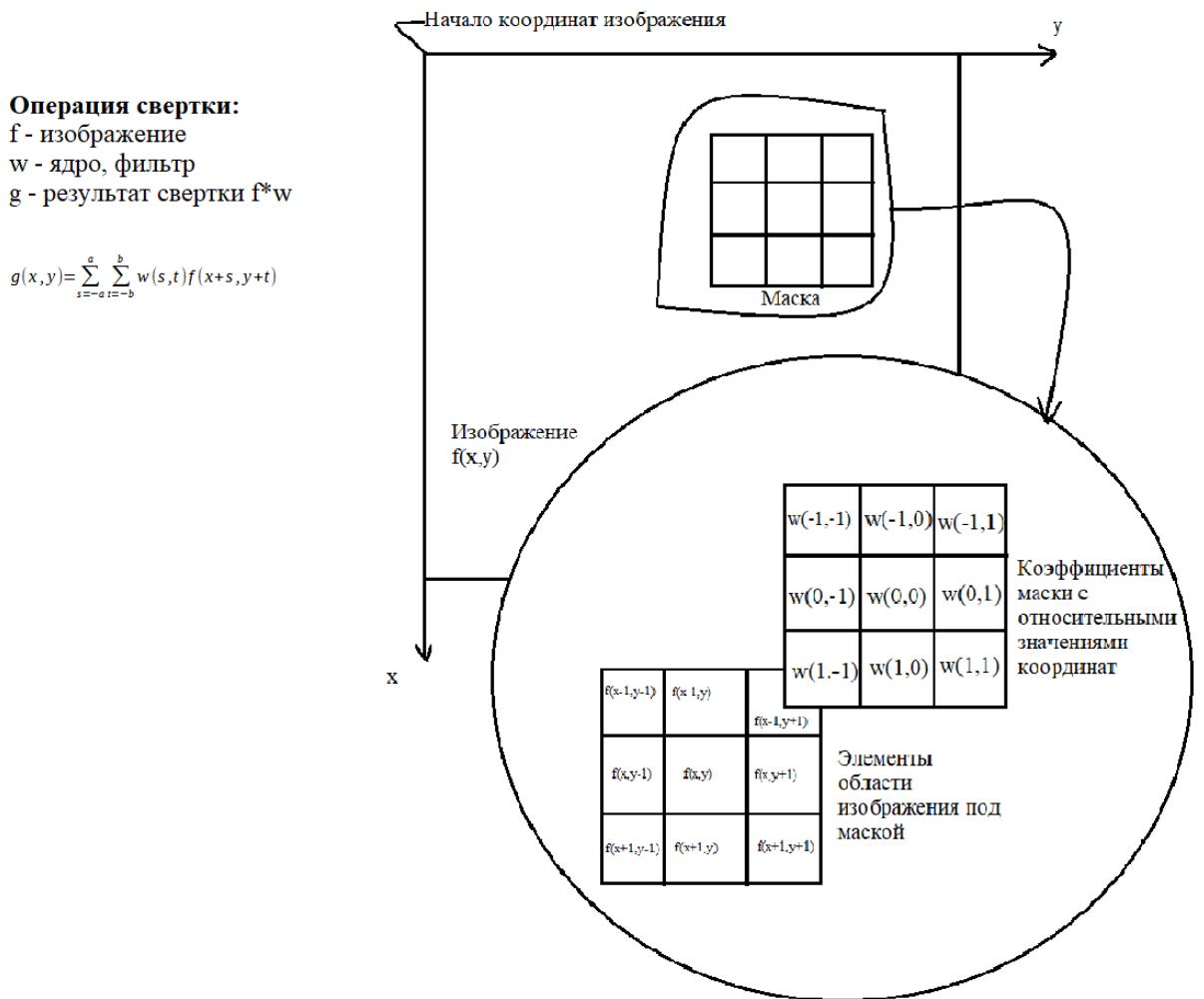


Рисунок 3.23. Алгоритм фильтрации.

Маска скользит по картинке, мы должны наложить её на каждый из пикселей. С граничными пикселями при этом происходит следующее. Для того чтобы можно было произвести фильтрацию, мы выбираем два варианта: либо картинка на выходе будет меньшего размера, чем исходная, так как она обрезается по размеру фильтра, то есть отрезается по половине фильтра сверху, снизу и с боков. Либо мы наращиваем исходное изображение. Чаще всего либо добавляются чёрные пиксели, либо что более оправданно, зеркально отражённые пиксели края картинки. Операция свёртки обладает рядом приятных свойств, таких как коммутативность, то есть, не важно, что стоит на первом месте, изображение или фильтр. Ассоциативность, то есть, если у нас есть два фильтра мы можем либо сначала применить, а потом второй, либо на основании этих фильтров построить свёртку фильтров, а потом уже применять её к изображению. Дистрибутивность по сложению — можем сложить два фильтра, просто сложить

их веса и получить новый фильтр, или применить сначала один фильтр, потом второй и сложить результаты. Скаляр можем выносить за скобки. То есть если здесь есть коэффициент, можем все веса поделить на какое-то число, применить фильтр, а потом результат умножить на эту константу [9].

Сначала создаем фильтр с помощью `fspecial`, а затем свертываем изображение с помощью фильтра `imfilter`.

Пример:

```
>> H=fspecial('average',1);  
>> xx_f=imfilter(xx,H);
```

В данной работе использовались несколько фильтров `fspecial`, для того чтобы понять какой из них будет более эффективным для сглаживания.

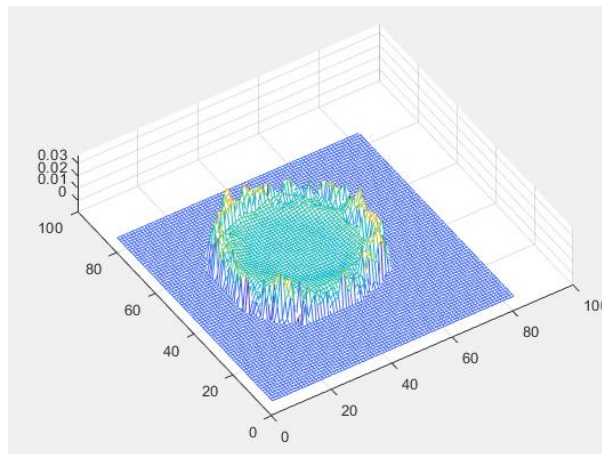


Рисунок 3.24. Данные функции DECAУ с маской без сглаживания

3.3.1. Использование фильтра 'average'

`h = fspecial('average',hsize)` возвращает усреднение фильтруют `h` из размера `hsize`. Рассмотрим, как сглаживается плоскость в зависимости от параметра `hsize` [10].

Фильтр `average` задается формулой:

$$\text{ones}(n(1),n(2))/(n(1)*n(2)), \quad (3.1)$$

где `ones (n(1), n(2))` возвращает массив `-n(1)-...-n(2)-` единиц, где указывает размер каждого измерения; `n(1)*n(2)` – размерность матрицы.

Командная строка для фильтра `average`:

```

>> H=fspecial('average',1);
>> H1=fspecial('average',2);
>> H2=fspecial('average',3);
>> H3=fspecial('average',4);
>> xx=full_decay_clean_end(:,:,1);
>> xx_f=imfilter(xx,H);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,H1);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,H2);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,H3);
>> figure; mesh(xx_f)

```

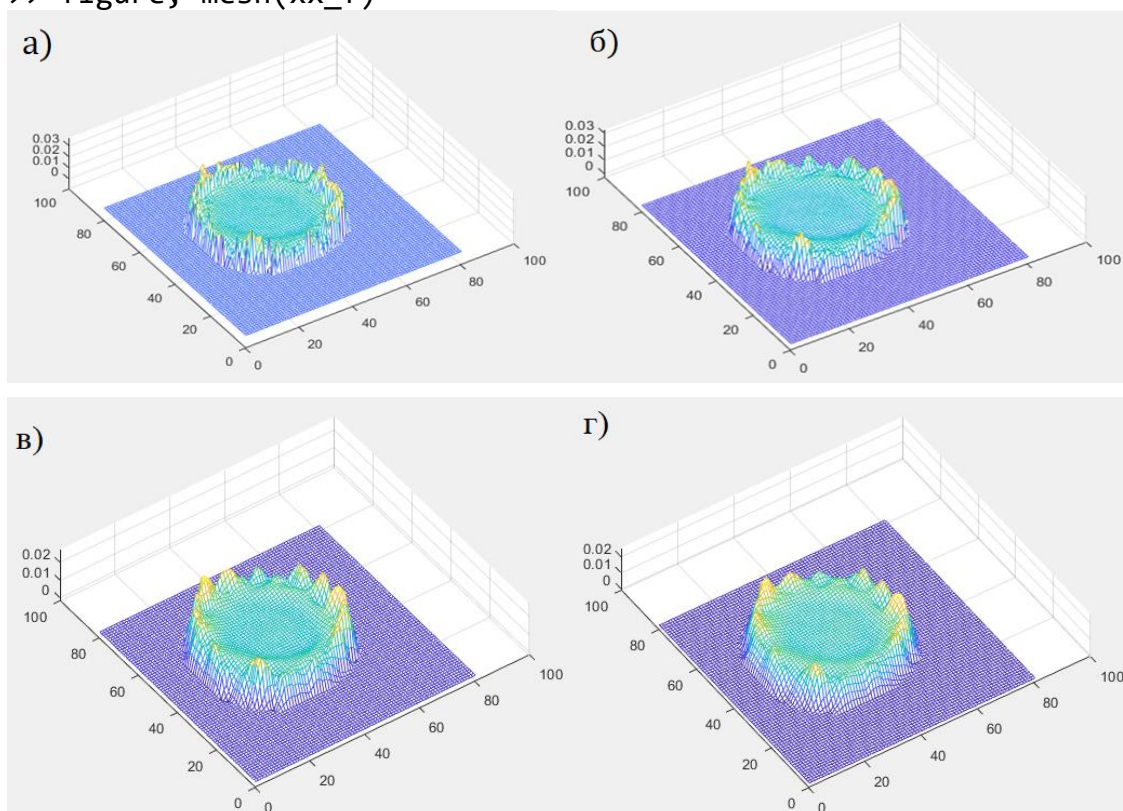


Рисунок 3.25. Сглаженные данные функции DECAУ с помощью фильтра average с разными значениями hsize: а) ('average',1); б) ('average',2); в) ('average',3); г) ('average',4).

При малых значениях $hsize=1$ функция не так хорошо сглаживается, но границы объекта не увеличиваются. При увеличении параметра $hsize=2,3$ границы объекта увеличиваются максимум на 1 единицу, но сглаживается лучше.

3.3.2. Использование фильтра 'disk'

$h = fspecial('disk',radius)$ возвращает круговой фильтр усреднения в квадратной матрице размера $2*radius+1$. Также рассмотрим плоскость изменяя

параметр radius [10].

Командная строка для фильтра disk:

```
>> PSF=fspecial('disk',1);  
>> PSF1=fspecial('disk',2);  
>> PSF2=fspecial('disk',3);  
>> PSF3=fspecial('disk',4);  
>> xx_f=imfilter(xx,PSF);  
>> figure; mesh(xx_f)  
>> xx_f=imfilter(xx,PSF1);  
>> figure; mesh(xx_f)  
>> xx_f=imfilter(xx,PSF2);  
>> figure; mesh(xx_f)  
>> xx_f=imfilter(xx,PSF3);  
>> figure; mesh(xx_f)
```

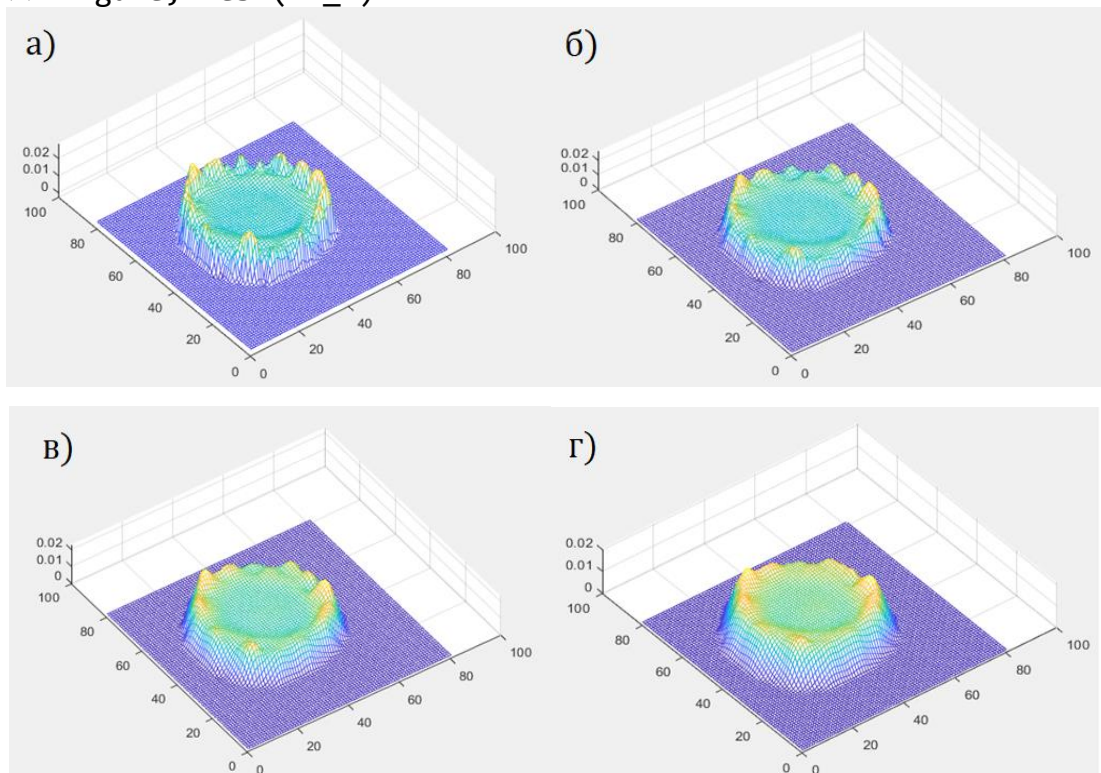


Рисунок 3.26. Сглаженные данные функции DECAУ с помощью фильтра disk с разными значениями радиуса: а) ('disk',1); б) ('disk',2); в) ('disk',3); г) ('disk',4).

При использовании функции disk значения хорошо сглаживаются при малом радиусе. При увеличении радиуса границы значений плоскости увеличиваются на 1–2 единицы.

3.3.3. Использование фильтра 'gaussian'

$h = \text{fspecial}(\text{'gaussian'}, \text{hsize}, \text{sigma})$ возвращает вращательно симметричный Гауссов фильтр lowpass размера hsize со стандартным sigma.

Выбор сигмы во многом зависит от желаемого результата. Гауссовское сглаживание — это фильтрация нижних частот, что означает, что оно подавляет высокочастотные детали (шум, но также края), сохраняя при этом низкочастотные части изображения (то есть те, которые не так сильно различаются). Другими словами, фильтр размывает все, что меньше фильтра [9].

Гауссовский фильтр задается следующими формулами:

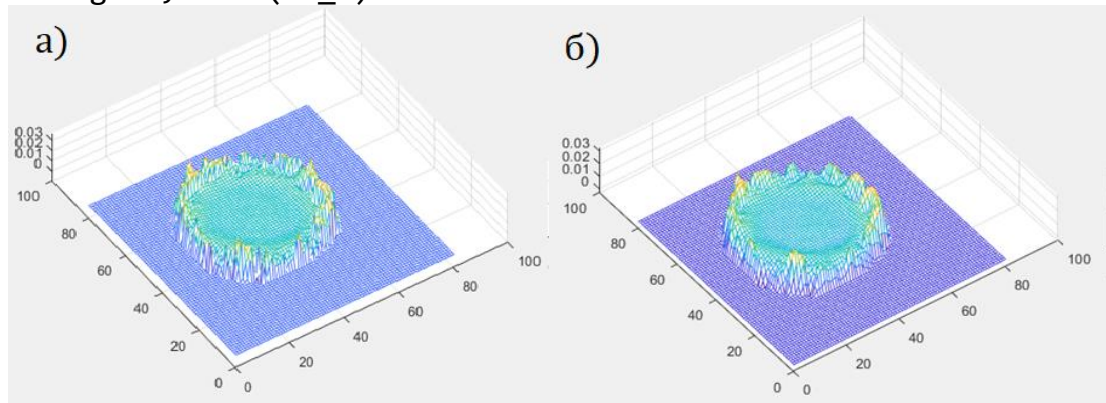
$$h_g(n_1, n_2) = e^{-\frac{(n_1^2 + n_2^2)}{2\sigma^2}} \quad (3.2)$$

$$h(n_1, n_2) = \frac{h_g(n_1, n_2)}{\sum_{n_1} \sum_{n_2} h_g} \quad (3.3)$$

где n_1, n_2 определяют размерность матрицы [10].

Командная строка для фильтра `gaussian` со значением `sigma=1`:

```
>> S=fspecial('gaussian',1,1);
>> S1=fspecial('gaussian',2,1);
>> S2=fspecial('gaussian',3,1);
>> S3=fspecial('gaussian',4,1);
>> xx_f=imfilter(xx,S);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,S1);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,S2);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,S3);
>> figure; mesh(xx_f)
```



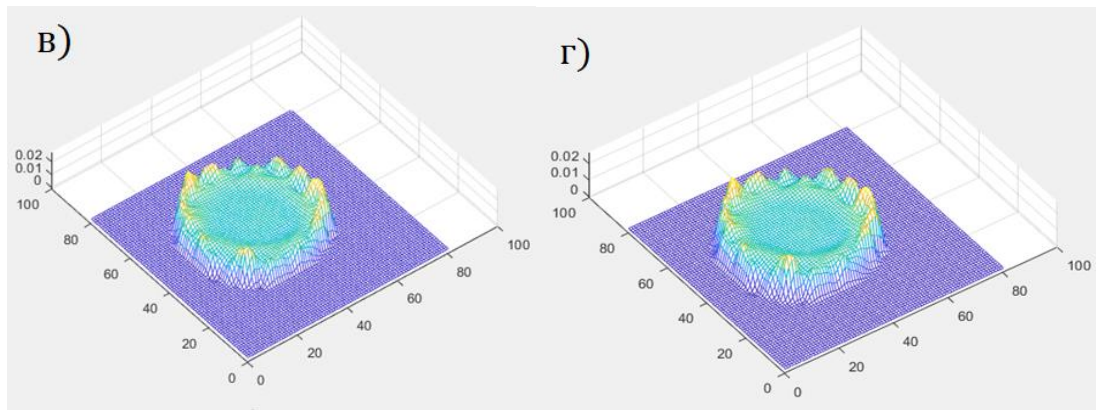
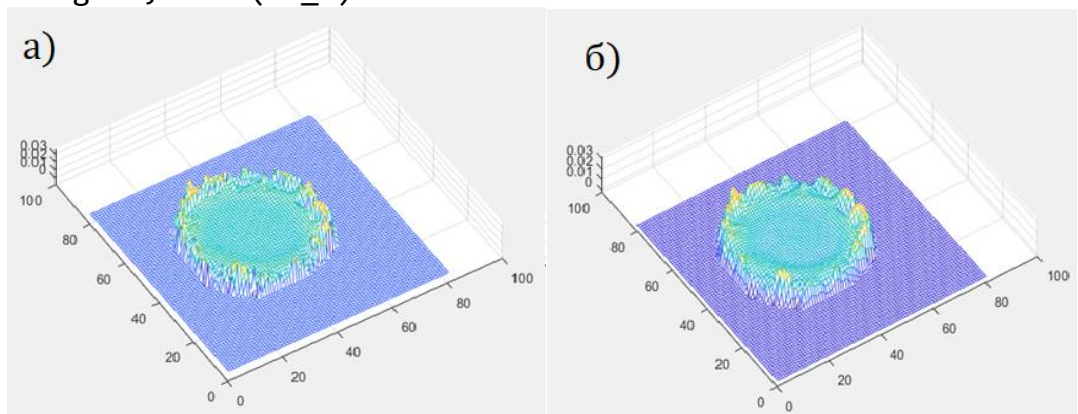


Рисунок 3.27. Сглаженные данные функции DECAУ с помощью функции gaussian с постоянным значением $\sigma=1$ (отклонение) и с разным значением параметра hsize: а) ('gaussian',1, 1); б) ('gaussian',2,1); в) ('gaussian',3,1); г) ('gaussian',4,1).

Командная строка для фильтра gaussian со значением $\sigma=0.5$:

```
>> S=fspecial('gaussian',1,0.5);
>> S1=fspecial('gaussian',2,0.5);
>> S2=fspecial('gaussian',3,0.5);
>> S3=fspecial('gaussian',4,0.5);
>> xx_f=imfilter(xx,S);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,S1);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,S2);
>> figure; mesh(xx_f)
>> xx_f=imfilter(xx,S3);
>> figure; mesh(xx_f)
```



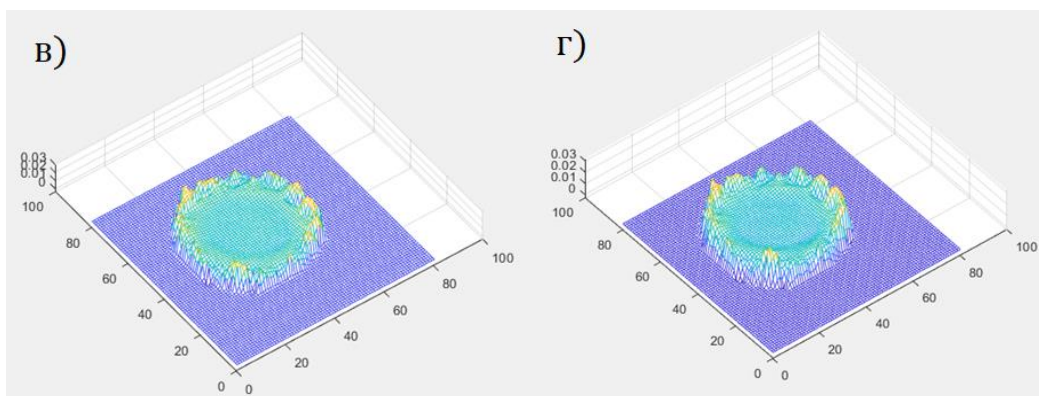


Рисунок 3.29. Сглаженные данные функции DECAY с помощью фильтра gaussian с постоянным значением $\sigma=0.5$ (отклонение) и с разным значением параметра hsize: а) ('gaussian',1, 0.5); б) ('gaussian',2,0.5); в) ('gaussian',3,0.5); г) ('gaussian',4,0.5).

При меньшем значении σ функция сглаживается плохо, при увеличении параметра σ значения сглаживаются лучше. Также границы почти не увеличиваются, либо максимум на 1 пиксель. При больших параметрах hsize функция сглаживается лучше.

3.4. Разность между сглаженными и исходными данными функции DECAY

Были найдены наиболее подходящие фильтры для сглаживания значений. Но для того, чтобы определить наилучший вариант сглаживания, предположительно в данной работе нужно найти разность между значениями не сглаженной исходной обработанной плоскости и сглаженной плоскостью. На рисунке 3.30 в можно увидеть разность этих двух значений.

```
>> H=fspecial('average',1);
>> xx=full_decay_clean_end(:,:,3);\\исходная плоскость X
>> xx_f=imfilter(xx,H);\\ сглаженная плоскость X
>> X=xx-xx_f;\\ разность между исходной и сглаженной плоскостью
```

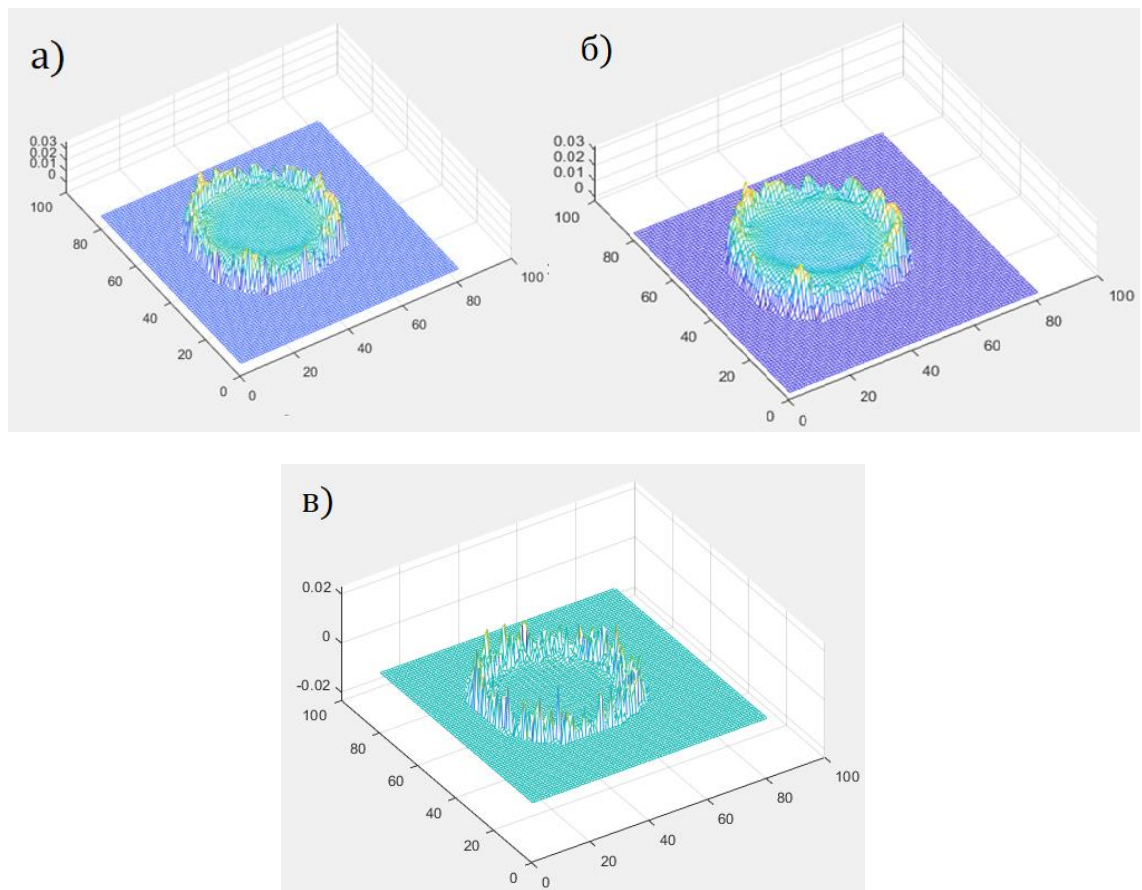


Рисунок 3.30. а) Исходная данные функции DECAУ; б) сглаженные данные функции DECAУ; в) разность между а и б.

Для всех предыдущих фильтров мы сделали те же операции, результат можно увидеть на рисунках 3.31–3.34.

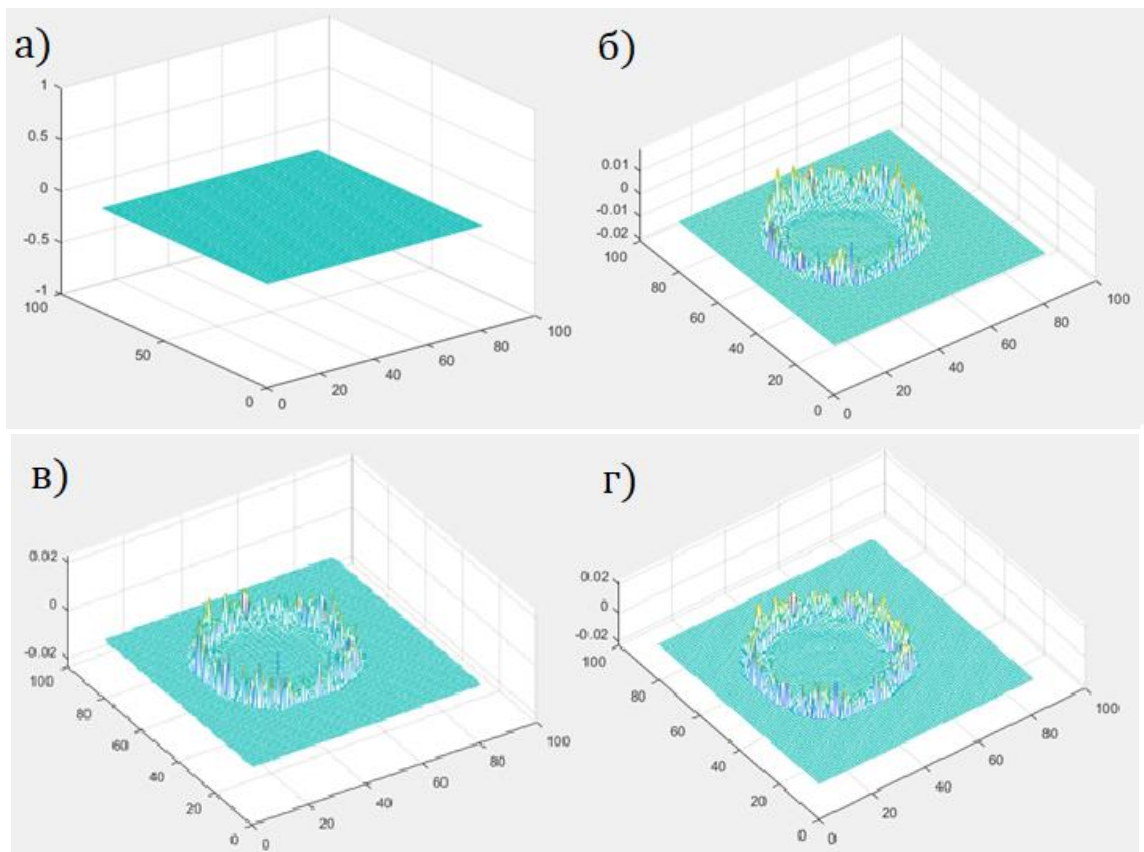


Рисунок 3.31. Разность между исходными данными функции DECAY и сглаженными с помощью фильтра average с разными значениями hsize: а) ('average', 1); б) ('average', 2); в) ('average', 3); г) ('average', 4).

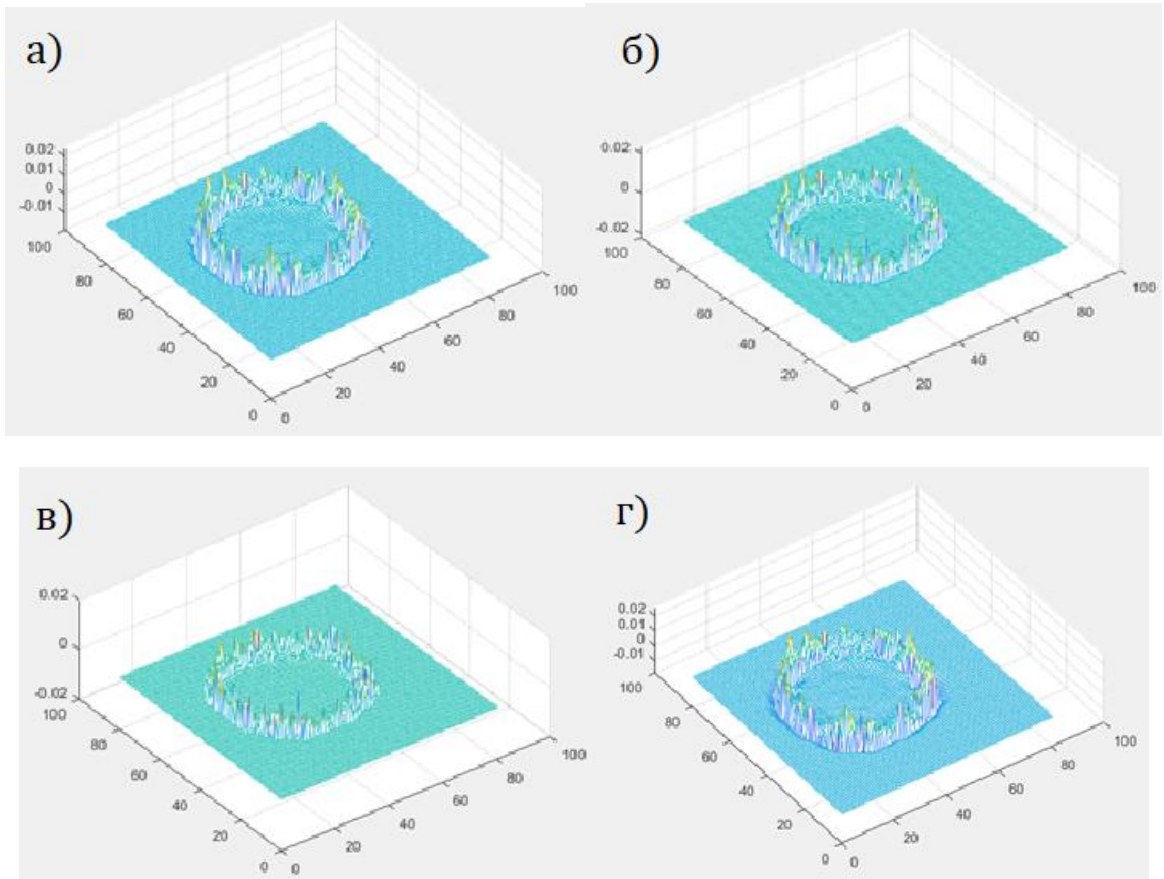


Рисунок 3.32. Разность между исходными данными функции DECAY и сглаженными с помощью фильтра disk с разными значениями радиуса: а) ('disk',1); б) ('disk',2); в) ('disk',3); г) ('disk',4).

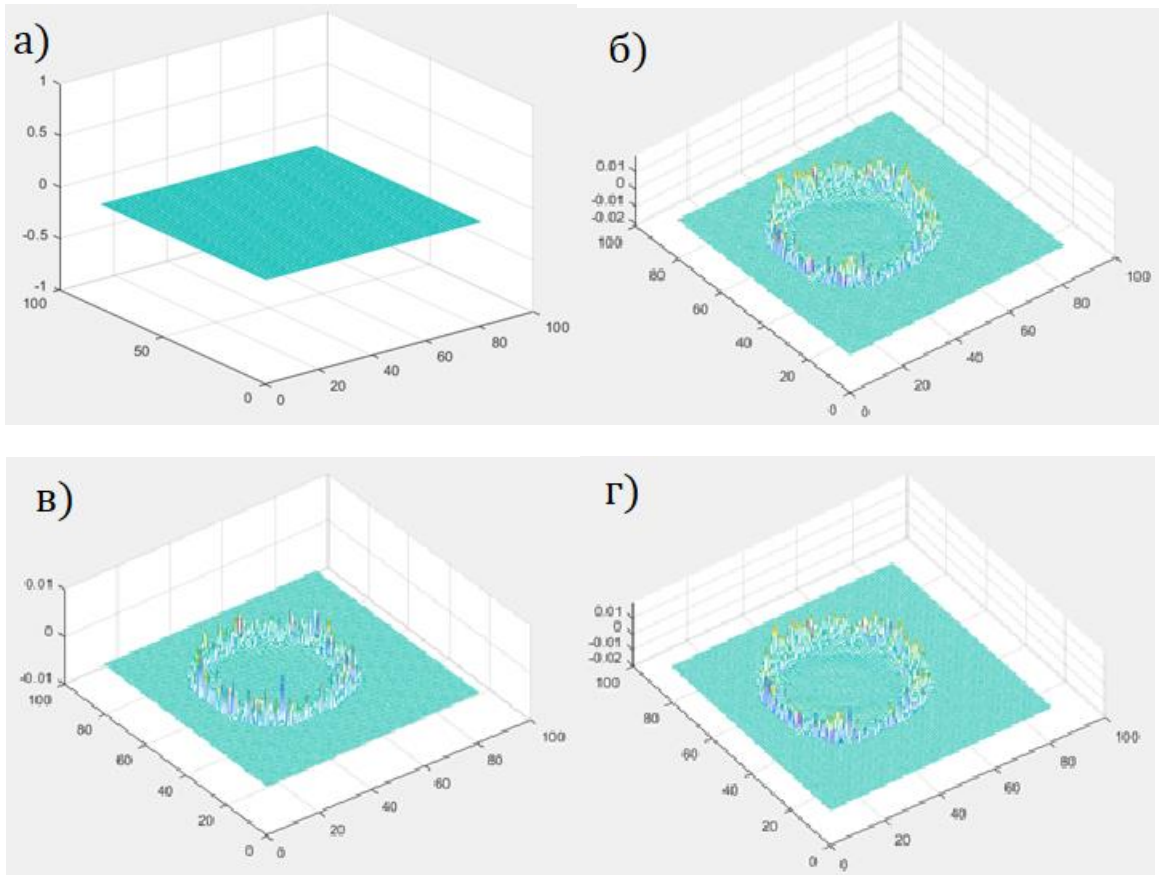


Рисунок 3.33. Разность между исходными данными функции DECAУ и сглаженными с помощью фильтра `gaussian` с постоянным значением `sigma=0.5` (отклонение) и с разным значением параметра `hsize`: а) ('`gaussian`',1, 0.5); б) ('`gaussian`',2,0.5); в) ('`gaussian`',3,0.5); г) ('`gaussian`',4,0.5)

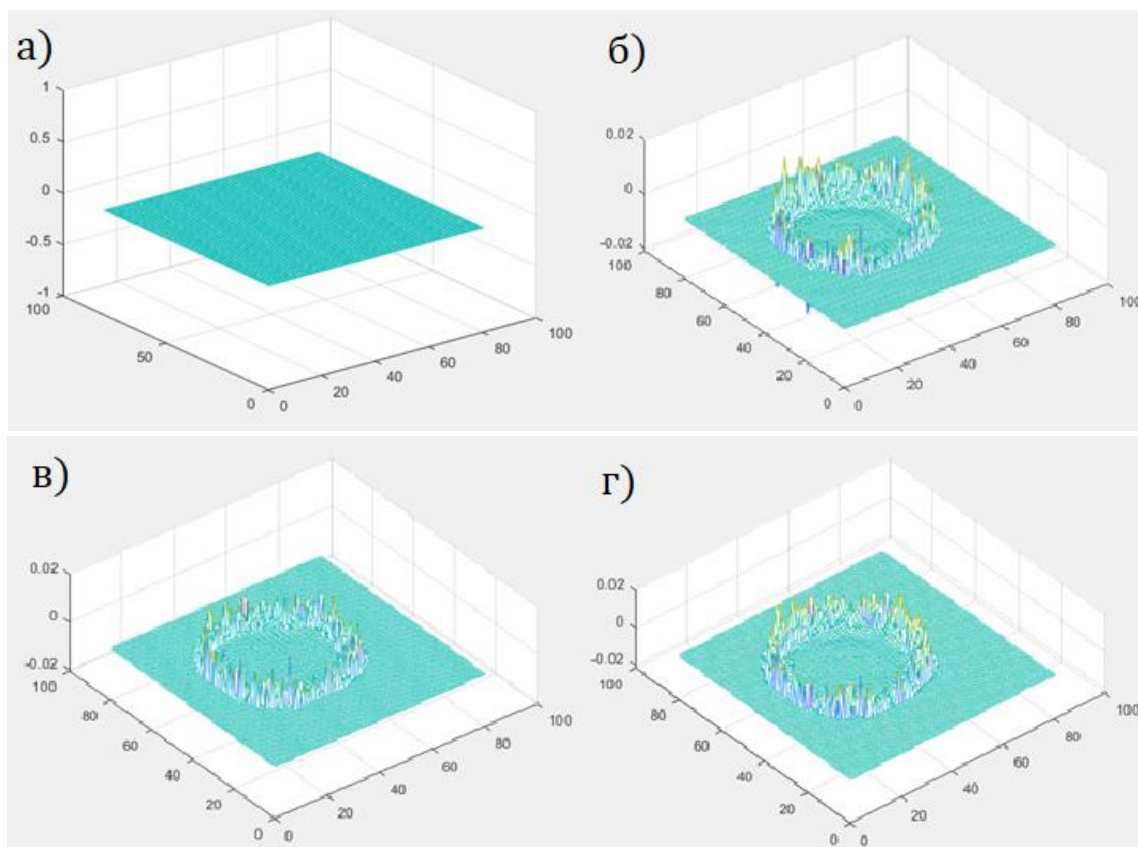


Рисунок 3.34. Разность между исходными данными функции DECAY и сглаженными с помощью фильтра gaussian с постоянным значением sigma=1 (отклонение) и с разным значением параметра hsize: а) ('gaussian',1, 1); б) ('gaussian',2,1); в) ('gaussian',3,1); г) ('gaussian',4,1)

На некоторых рисунках как 3.34(а) видно, что плоскость не имеет никаких значений, это значит, что фильтрации так таковой не было, то есть не было сглаживания. На остальных рисунках видно, что на границах маски мы видим ряд разных значений, это результат сглаживания (неистинные значения, которых нет в исходной плоскости), то есть эти значения на границы не имеют особого значения, их мы не учитываем. Нам нужны значения, которые находятся внутри этих границ, для того чтобы в дальнейшем выявить на сколько значения разнятся с исходной плоскостью. Далее нужно будет выявить какой фильтр будет хорошо сглаживать и погрешность будет небольшой.

Для того чтобы удобней было сравнить в дальнейшем значения, которые нам необходимы, нужно убрать значения на границе, то есть неистинные значения, которые получились в результате разности между значениями не

сглаженной и сглаженной плоскости. Чтобы убрать эти «границы» воспользуемся исходной маской.

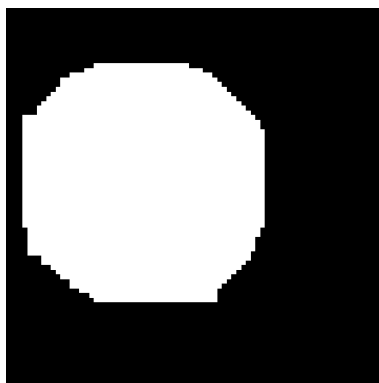


Рисунок 3.35. Исходная маска

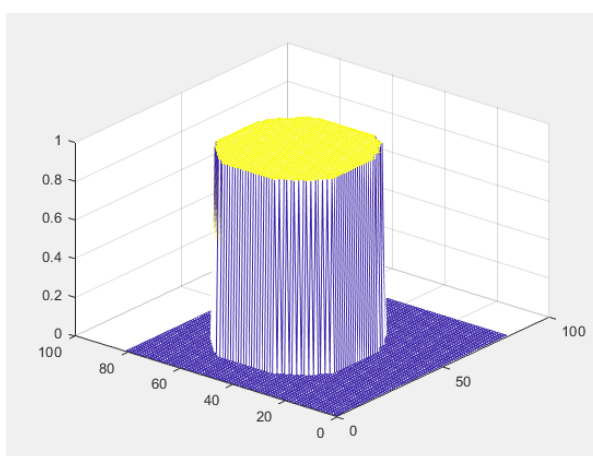


Рисунок 3.36. Исходная маска в объеме (h1)

Мы уже имеем исходную маску. Нам нужно выделить только границы. Для этого воспользуемся функцией для выделения границ объекта $A = \text{edge}(B, 'canny')$.

`>> A = edge(h1, 'canny');` \\ выделяем границы маски, где h1 исходная маска

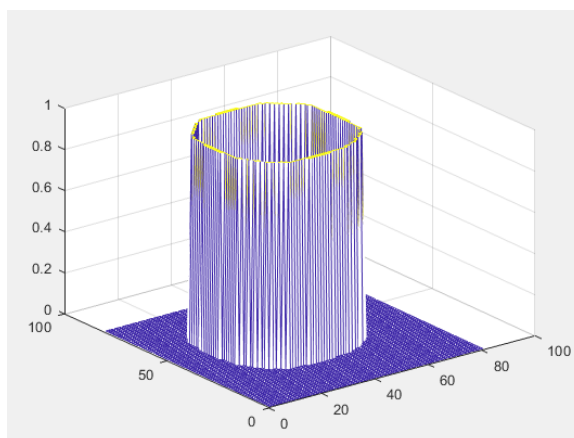


Рисунок 3.37. Контур маски (A)

Сначала нам нужно наложить контур маски на исходные данные функции DECAУ.

```
>> L=X.*A; \\ наложенный контур маски на исходные данные
```

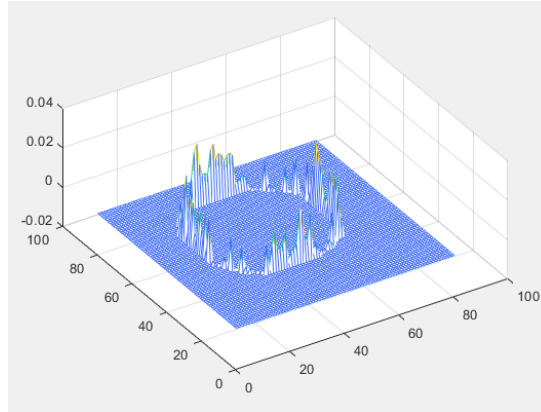


Рисунок 3.38. Сглаженные данные функции DECAУ с наложенным контуром маски (L)

Далее мы накладываем контур маски на разность между сглаженными и исходными данными функции DECAУ.

```
>> M=X-L; \\результат между разностью исходными и сглаженными данными  
функции DECAУ и исходными данными с наложенным контуром маски
```

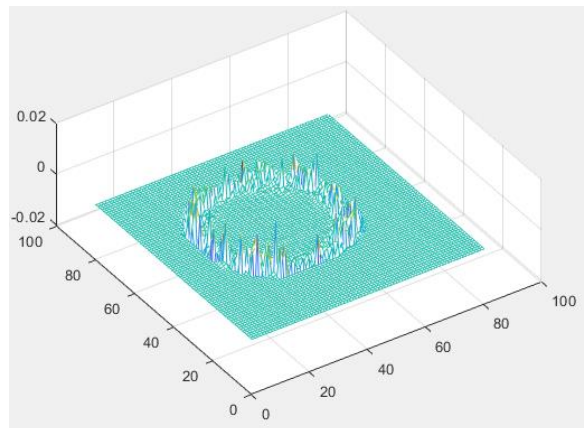


Рисунок 3.39. Результат между разностью исходными и сглаженными данными функции DECAУ и исходными данными с наложенным контуром маски

Как мы видим на границах все равно остались значения, эта значит, что нужно увеличить контур маски, то есть расширить ее на 1–2 пикселя. Можно это сделать с помощью функции $J = \text{imdilate}(I, SE)$, которая расширяет шкалу полутонов, двоичный файл или упакованное бинарное изображение I

использование элемента структурирования SE [9]. В зависимости от параметра SE можно увеличивать кольцо, то есть маску с границами.

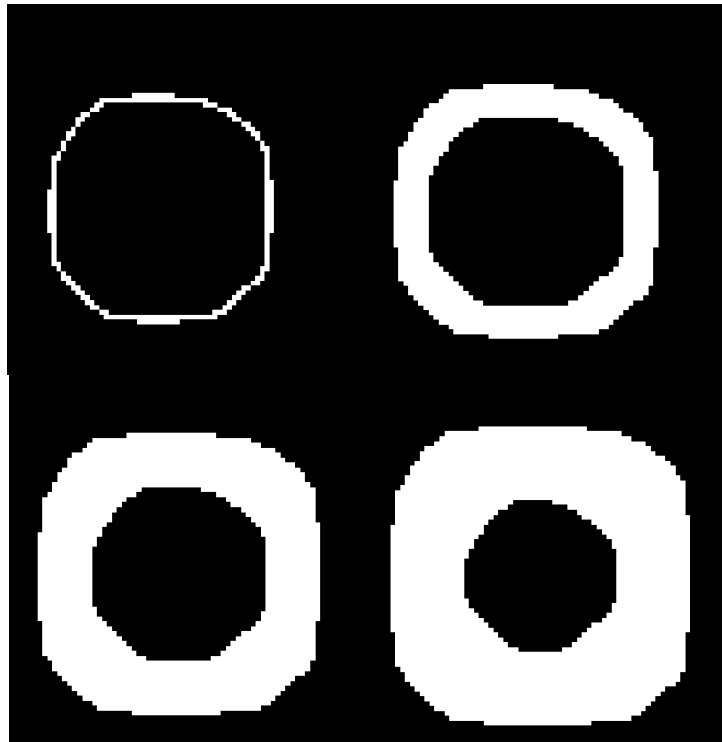


Рисунок 3.40. Контур маски, зависящий от параметра SE.

```
>>se=strel('square',10);  
>>I1=imdilate(gran1,se);
```

Далее мы повторяем все те же процедуры (рис. 3.39, 3.38). Получаем нужную разность между исходными и сглаженными данными функции DECAУ.

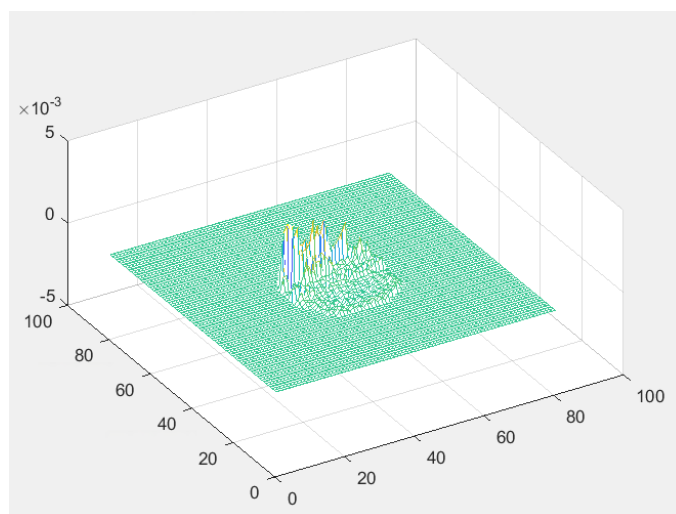


Рисунок 3.41. Разность между сглаженными и исходными данными функции DECAУ

Но все равно в итоге мы получим значения, из которых также нужно будет выбрать устраивающий нас вариант для сглаживания. Поэтому, что, если не искать разность между исходным и сглаженным значением, а найти критерии, с помощью которых можно выявить наилучшее сглаживание.

3.5. Другие способы сглаживания или подбор оптимального параметра

Итак, нам нужен критерий для сглаживания, благодаря которому можно эффективно выбрать нужный фильтр. Существует несколько критериев такие как критерий хи-квадрат, и т. д.

3.5.1. Критерий хи-квадрат

Любая статистическая проверка гипотезы, в которой выборочное распределение критерия имеет распределение хи-квадрат при условии верности нулевой гипотезы. Считается, что критерий хи-квадрат – это критерий, который асимптотически верен, то есть, выборочное распределение можно сделать, как угодно, близким к распределению хи-квадрат путём увеличения размера выборки.

$h = \text{chi2gof}(x)$ возвращает тестовое решение для нулевой гипотезы что данные в векторном x прибывает из нормального распределения со средним значением и отклонением, оцененным от x , использование критерия согласия Хи-квадрат. Альтернативная гипотеза - то, что данные не прибывают из такого распределения. Результат $h=1$ если тест отклоняет нулевую гипотезу на 5%-м уровне значения и 0 в противном случае [11].

Критерий согласия Хи-квадрат определяет, прибывает ли выборка данных из заданного вероятностного распределения параметрами, оцененными из данных.

Тест группирует данные в интервалы, вычисление наблюдаемых и ожидаемых счетов для тех интервалов и вычисление хи-квадрата тестируют статистическую величину

$$x^2 = \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2 / E_i, \quad (3.4)$$

где O_i является наблюдаемыми количествами и E_i , является ожидаемыми количествами на основе предполагавшегося распределения. Тестовая статистическая величина имеет аппроксимированное распределение хи-квадрат, когда количества являются достаточно большими.

При использовании функции для сглаженного двумерного массива, программа выдает ошибку. То есть функция `chi2gof` работает только с вектор-массивами.

Вывод на консоль:

```
>> h = chi2gof(H1xx_f); \\ использование сглаженного двумерного массива 81*81
```

```
Error using chi2gof (line 130)
```

```
X must be a vector of real values. \\ показывает ошибку так как данные должны быть представлены в виде вектора
```

```
>> b=H1xx_f(:,1); \\ использование вектор-массива
```

```
>> h = chi2gof(b);
```

```
Warning: After pooling, some bins still have low expected counts.
```

```
The chi-square approximation may not be accurate \\ показывает ошибку, так как все значения являются нулевыми
```

```
>> b=H1xx_f(:,41); \\ использование серединного вектор-массива (столбец)
```

```
>> h = chi2gof(b)
```

```
h = 1 \\ тест отклоняет нулевую гипотезу
```

```
>> b=H1xx_f(41,:); \\ использование серединного вектор-массива (строка)
```

```
>> h = chi2gof(b)
```

```
h =1 \\ тест отклоняет нулевую гипотезу
```

Из результатов видно, что данный критерий в пакете MatLab работает только с вектор-массивами. А нам нужен критерий для двумерного массива. Также результат показывает, что тест отклоняет нулевую гипотезу. Значит, что в принципе критерии такого рода не подойдут для параметра проверки [12].

Так как мы не можем определить с помощью различных критериев наилучший фильтр для сглаживания, что, если рассмотреть другой метод для

сглаживания. Наиболее частый метод для сглаживания является интерполяция.

3.5.2. Метод интерполяции

$Vq = \text{interp2}(X, Y, V, Xq, Yq)$ возвращает интерполированные значения функции двух переменных в определенных точках запроса с помощью линейной интерполяции. Результаты всегда проходят через исходную выборку функции. X и Y содержит координаты точек выборки. V содержит соответствующие значения функции в каждой точке выборки. Xq и Yq содержит координаты точек запроса [13].

Входные параметры функции

X, Y – демонстрационные узлы решетки

Демонстрационные узлы решетки в виде действительных матриц или векторов. Демонстрационные узлы решетки должны быть уникальными.

- Если X и Y матрицы, затем они содержат координаты полной сетки (в `meshgrid` формате). Используется `meshgrid` функция, чтобы создать X и Y матрицы вместе. Обе матрицы должны быть одного размера.
- Если X и Y векторы, затем они обработаны как векторы сетки. Значения в обоих векторах должны быть строго монотонными, или увеличение или уменьшение.

Пример: $[X, Y] = \text{meshgrid}(1:30, -10:10)$

V – демонстрационные значения

Демонстрационные значения в виде действительной или комплексной матрицы. Требования размера для V зависят от размера X и Y :

- Если X и Y матрицы, представляющие полную сетку (в `meshgrid` формате), то V должен быть одного размера с X и Y .
- Если X и Y векторы сетки, затем V должна быть матрица, содержащая `length(Y)` строки и `length(X)` столбцы.

Пример: `rand(10,10)`

Xq, Yq – точки запроса

Точки запроса представляются в виде действительных скаляр, векторов, матриц или массивов.

Пример: $[Xq, Yq] = \text{meshgrid}((1:0.1:10), (-5:0.1:0))$

Линейная интерполяция

Интерполяция – это способ определения промежуточных значений по дискретному набору данных [14].

Формула линейной интерполяции имеет вид:

$$f(x) = f(x_i) + \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i), \quad (3.5)$$

при $x_i < x < x_{i+1}$. [13].

Для входных параметров интерполяции, как уже сказано выше, для исходной сетки размерность массива значений должна совпадать. Сначала мы создаем исходную сетку:

```
>> [X,Y] = meshgrid(1:81,1:81);
```

Далее мы создаем итоговую сетку и задаем шаг интерполяции.

```
>> [Xq,Yq] = meshgrid((1:0.5:81),(1:0.5:81));
```

А затем с помощью функции `interp2` интерполируем наши данные.

На рисунке 3.42 представлен результат интерполяции с шагом 0.5.

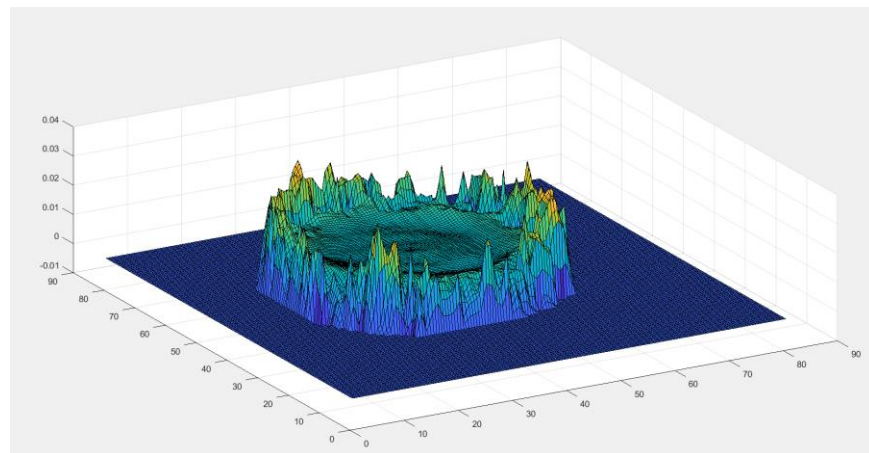


Рисунок 3.42. Интерполяция, где сетка построена с шагом 0.5.

Но так как размерность получаемого массива не совпадает с изначальной размерностью, мы не можем использовать эти данные для нашего случая, так как в дальнейшем они пригодятся для расчета каких-либо значений. А при интерполяции с шагом равным 1 ничего не будет сглаживаться, это можно увидеть на рисунках 3.43 и 3.44, где представлена интерполяция с шагом 1 и разность между исходным массивом и интерполированным соответственно.

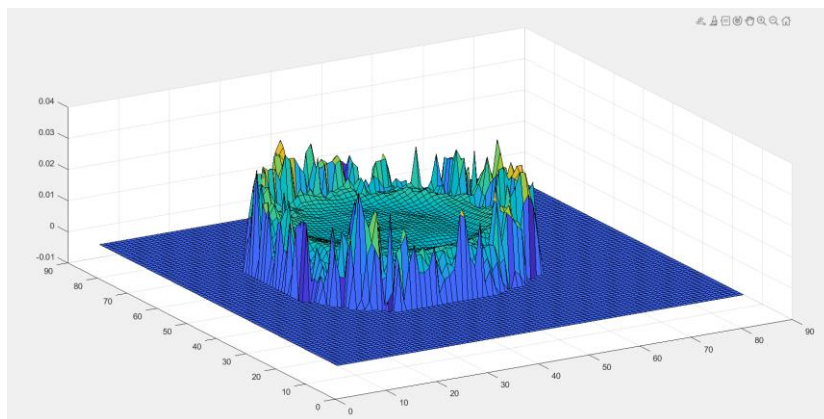


Рисунок 3.43. Интерполяция, где сетка построена с шагом 1.

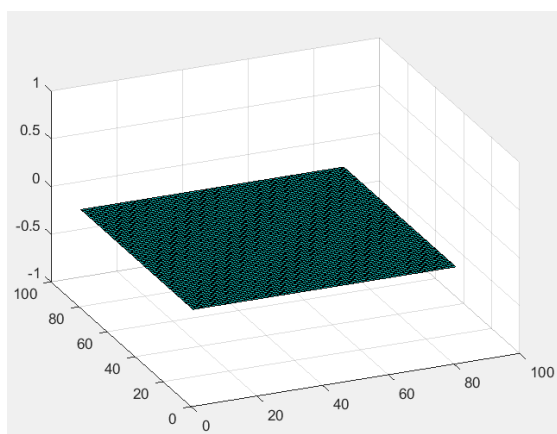


Рисунок 3.44. Разность между исходным массивом и интерполированным.

Вывод на консоль:

```
>> [X,Y] = meshgrid(1:81,1:81);\\ создание исходной сетки
>> [Xq,Yq] = meshgrid((1:0.5:81),(1:0.5:81));\\ создание итоговой
сетки
>> Vq = interp2(X,Y,xx,Xq,Yq);\\ применение интерполяции
>> figure; surf(Xq,Yq,Vq)\\ построение
>> [X,Y] = meshgrid(1:2:81,1:2:81);\\ попытка создания исходной сетки
с шагом
>> [Xq,Yq] = meshgrid((1:1:81),(1:1:81));
>> Vq = interp2(X,Y,xx,Xq,Yq);
Error using griddedInterpolant
The sample points arrays must have the same size as the sample values
array.
Error in interp2>makegriddedinterp (line 228)
    F = griddedInterpolant(varargin{:});
Error in interp2 (line 136)
```

```

F = makegriddedinterp(X, Y, V, method,extrap);\ \ выдача
ошибки при построении исходной сетки с шагом
>> [X,Y] = meshgrid(1:81,1:81);
>> [Xq,Yq] = meshgrid((1:1:81),(1:1:81));\ \ построение итоговой сетки
с шагом 1
>> Vq = interp2(X,Y,xx,Xq,Yq);\ \ интерполяция
>> figure; surf(Xq,Yq,Vq)
>> AAAA=xx-Vq;\ \ разность между исходным массивом и
интерполированным
>> figure; surf(AAAA)

```

Из результатов видно, что метод уменьшает исходную сетку тем самым интерполируя значения. Соответственно мы не можем найти разность между исходной матрицей из-за размерности сеток. Собственно, нельзя определить сгладились ли наши данные. Если мы используем для итоговой сетки размерность с шагом 1, у нас ничего не меняется, то есть разность между исходными данными равна нулю. Так как исходную сетку мы не можем определить с каким-либо шагом, значит метод интерполяции не подходит для сглаживания наших данных. А уменьшение размера сетки влечет за собой увеличение данных, то есть наши данные грубо говоря изменяются, то есть значений в массиве становится больше. Значит этот метод не подходит для данной работы. Метод сглаживания с помощью аппроксимации похож на метод интерполяции, там также используется аналогичное построение [15].

3.5.3. Распределение Пуассона

Что, если построить распределение по не сглаженным данным. Для этого можно использовать различные функции в пакете MATLAB распределения. Для примера можно взять распределение Пуассона.

Функция распределения вероятностей Пуассона выглядит следующим образом:

$$F = e^{-\lambda} \sum_{i=0}^{\text{floor}(X)} \frac{\lambda^i}{i!} \quad (3.6)$$

Точечная оценка параметра λ по методу максимального правдоподобия определяется как среднее арифметическое значений X_i :

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.7)$$

Выборка X может быть задана как вектор или матрица.

`F = poisscdf(X,LAMBDA)` позволяет рассчитать значение функции распределения вероятностей закона Пуассона для случайной величины X и параметра `LAMBDA`. Размерность векторов или матриц X , `LAMBDA` должна быть одинаковой. Размерность скалярного параметра увеличивается до размерности другого входного аргумента. Значение параметра `LAMBDA` должно быть положительным.

Значение `LAMBDA` рассчитывается другой функцией. `lambdahat = poissfit(X)` функция служит для расчета точечной оценки `lambdahat` параметра λ распределения Пуассона по исходной выборке значений X . Значения оценок параметров определяются методом максимального правдоподобия [16].

При применении функции `poissfit` мы получаем вектор-строку значений λ (рисунок 3.45).

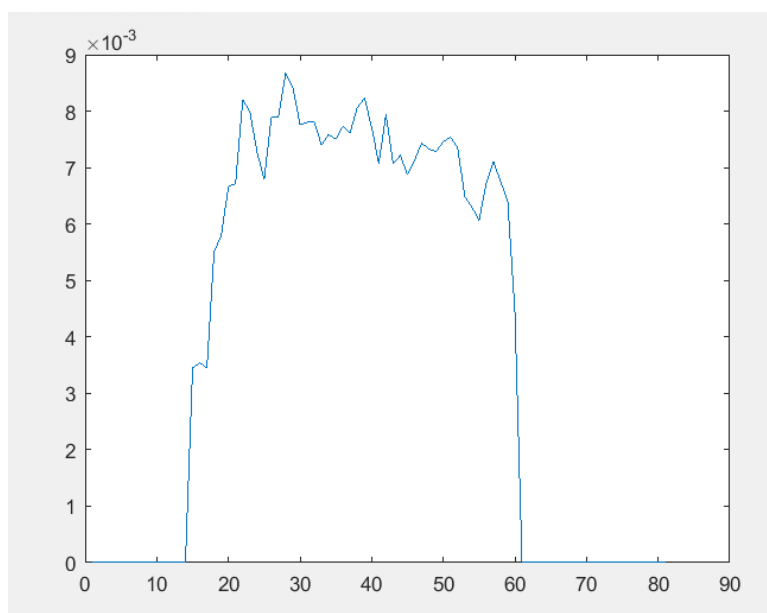


Рисунок 3.45. Вектор-строка значений λ

Далее для построения распределения по не сглаженным данным используем функцию `poisscdf`. В этой функции размерность значений λ должны совпадать с размерностью данных распределения. Поэтому мы можем выделить только

вектор-строку из наших данных. В итоге мы получаем одномерное распределение, но результат не дает желаемого распределения (рис. 3.46), скорее всего это происходит из-за некоторых значений λ в векторе-строке равны нулю.

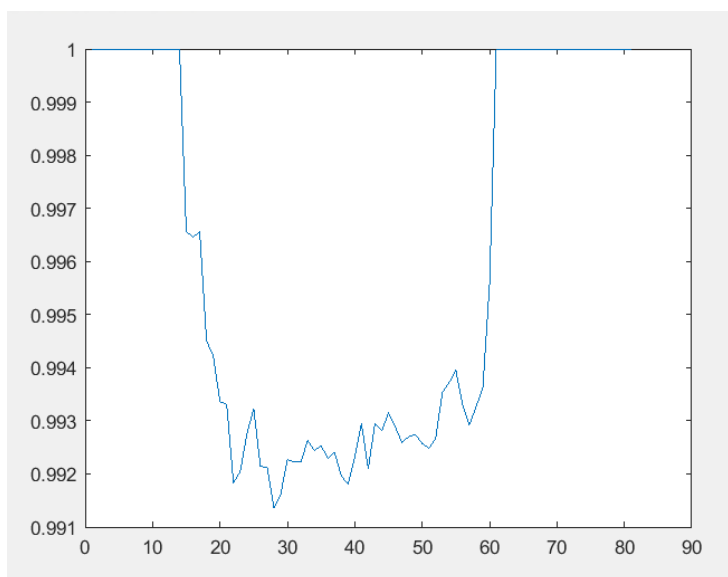


Рисунок 3.46. Одномерное распределение для вектор-строки.

Вывод на консоль:

```
>> lambdahat = poissfit(xx); \\ нахождение значений  $\lambda$  от матрицы не  
сглаженных данных
```

```
>> st=xx(41,:); \\ выделяем вектор-строку из данных
```

```
>> F = poisscdf(st,lambdahat); \\ построение распределения
```

```
>> figure; plot(F);
```

```
>> figure; plot(lambdahat);
```

Из результатов можно сказать, что в основном распределение строится в одномерном пространстве. Конечно, можно обработать каждую строку и сложить результаты в двумерном пространстве, но результат желаемого распределения недостижим для наших данных. Как уже говорилось выше из-за некоторых значений λ в векторе-строке равны нулю, и из-за этого получается совсем отличное распределение от исходных данных.

3.6. Суммирование исследуемого материала для сглаживания

В итоге наилучший вариант для сглаживания является использование

фильтров для сглаживания. Но определение наилучших параметров невозможно автоматизировать. Поэтому исходя из математики функций фильтров выберем наиболее подходящий из них.

Исходя из изображений сглаженных функций можно сказать, что фильтр `disk` сглаживает уже при наименьших параметрах очень сильно, что не совсем нам подходит, поэтому давайте рассмотрим фильтр `average` и `gaussian`. Фильтр `average` является усредняющим фильтром. Работа данного фильтра заключается в замене яркости в данном пикселе на среднюю яркость, вычисленную в его 8-окрестности, включая и сам пиксель. Достоинством усредняющего фильтра является его простота. К недостаткам можно отнести сглаживание ступенчатых и пилообразных функций. Кроме того, пиксели, имеющие существенное отличие в значении яркости и являющиеся шумовыми, будут вносить значительный вклад в результат обработки.

Гауссова фильтрация (`gaussian`) – это фильтр линейного сглаживания, подходящий для устранения гауссовского шума, и широко используется в процессе уменьшения шума при обработке изображений. Логика процесса фильтрации можно сказать, как и усредняющего фильтра, то есть усреднение всего изображения, значение каждого пикселя получается путем взвешенного среднего его значения и других значений пикселей в окрестности. Преимуществом является, что гауссовы сглаживающие фильтры очень эффективны в подавлении шумов, которые следуют за нормальным распределением.

Следуя из выше сказанного, наиболее выгодным будет использование гауссовского фильтра. Также исходя из пункта 3.3.4 значение параметра `sigma` лучше выбрать со значением равным 1. И исходя из пункта 3.4 выбрать параметр `hsize=3`. Также мы уберем лишние границы, которые образовались при сглаживании. Результат на рисунке 3.47.

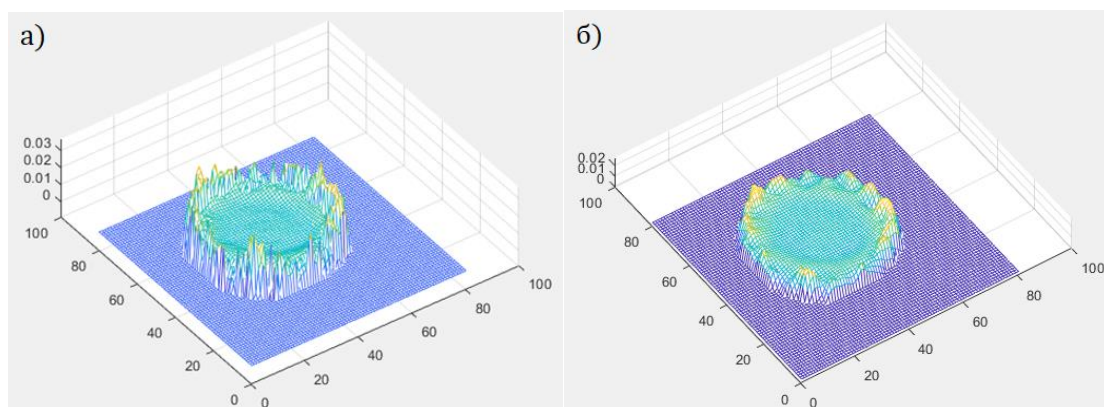


Рисунок 3.47. а) исходные данные функции DECAY; б) Сглаженные данные функции DECAY с итоговым фильтром

3.7. Выделение центра сглаженного материала для дальнейшей работы с данными

Был найден наилучший фильтр $S2=fspecial('gaussian',3,1)$ для сглаживания обработанных значений (рисунок 3.47). Чтобы получить более достоверные данные при расчете среднего значения и квадратичного отклонения обработанных данных, нужно учитывать значения, находящиеся в центре образца, так как одним из ограничений ультразвукового контроля заключается в том, что положение, ориентация и форма дефекта оказывают некоторое влияние на результат контроля, помимо ранее решенных проблем как образование шумов, нечетких границ материала происходит еще искажение данных на границах материала. Это можно заметить на рисунке 24, данные на границах существенно больше, чем в середине образца. Поэтому нужно преобразовать данные убрав значения на границах и оставить только центральный массив значений.

Для того чтобы убрать эти «границы» воспользуемся исходной маской. И проделаем операции, указанные в пункте 3.4.

Мы уже имеем исходную маску (рисунок 3.35). Нам нужно выделить только границы. Для этого воспользуемся функцией для выделения границ объекта $A= edge(B,'canny')$ (рисунок 3.37).

`gran1=edge(full_decay_clean(:,:,1),'canny');` \\ выделяем границы маски, где h1 исходная маска

Сначала нам нужно наложить контур маски на исходные данные (рисунок 3.38).

```
L=X.*gran1; \\ контур маски
```

Далее мы накладываем контур маску с границами на разность между сглаженной плоскостью и исходной рисунок (рисунок 3.39).

```
M=X-L; \\разность между разностью исходной и сглаженной плоскостей и  
исходными данными с контуром маски
```

Как мы видим на границах все равно остались значения (рисунок 3.39), это значит, что нужно увеличить итоговую маску с границами, то есть расширить ее на 1–2 пикселя. Можно это сделать с помощью функции `j = imdilate(I,SE)`, которая расширяет шкалу полутонов, двоичный файл или упакованное бинарное изображение `I` использование элемента структурирования `SE`. В зависимости от параметра `SE` можно увеличивать кольцо, то есть маску с границами (рисунок 3.50).

```
se=strel('square',14);  
I1=imdilate(gran1,se);
```

Создаем нулевой массив для маски с границами, чтобы потом можно было наложить ее на необходимые данные:

```
h2=zeros(81,81,4);  
h2(:,:,1)=I1;  
h2(:,:,2)=I1;  
h2(:,:,3)=I1;  
h2(:,:,4)=I1;
```

Далее умножаем контур маски на сглаженные данные:

```
Itog=h2.*S3xx_f;
```

Затем умножаем получившуюся матрицу на исходную маску, чтобы получить данные со сглаженными границами:

```
Itog1=h11.*Itog;
```

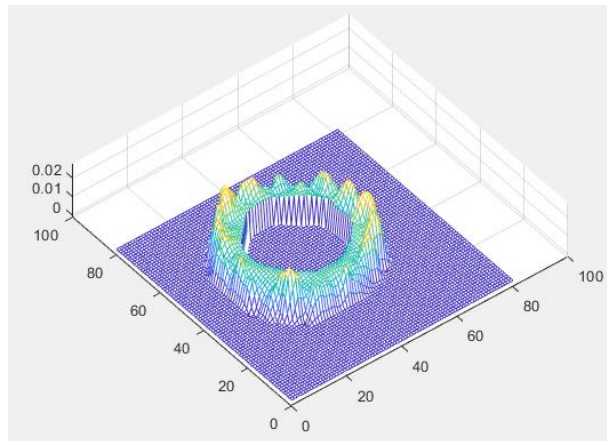


Рисунок 3.48. Матрица со сглаженными границами.

Чтобы получить только центр сглаженного массива мы вычитаем из итоговой сглаженной матрицы данные со сглаженными границами:

```
Itog_end=IS3xx_f-Itog1;
```

Те же процедуры проводим для исходных данных, чтобы получить разность между сглаженными и исходными данными.

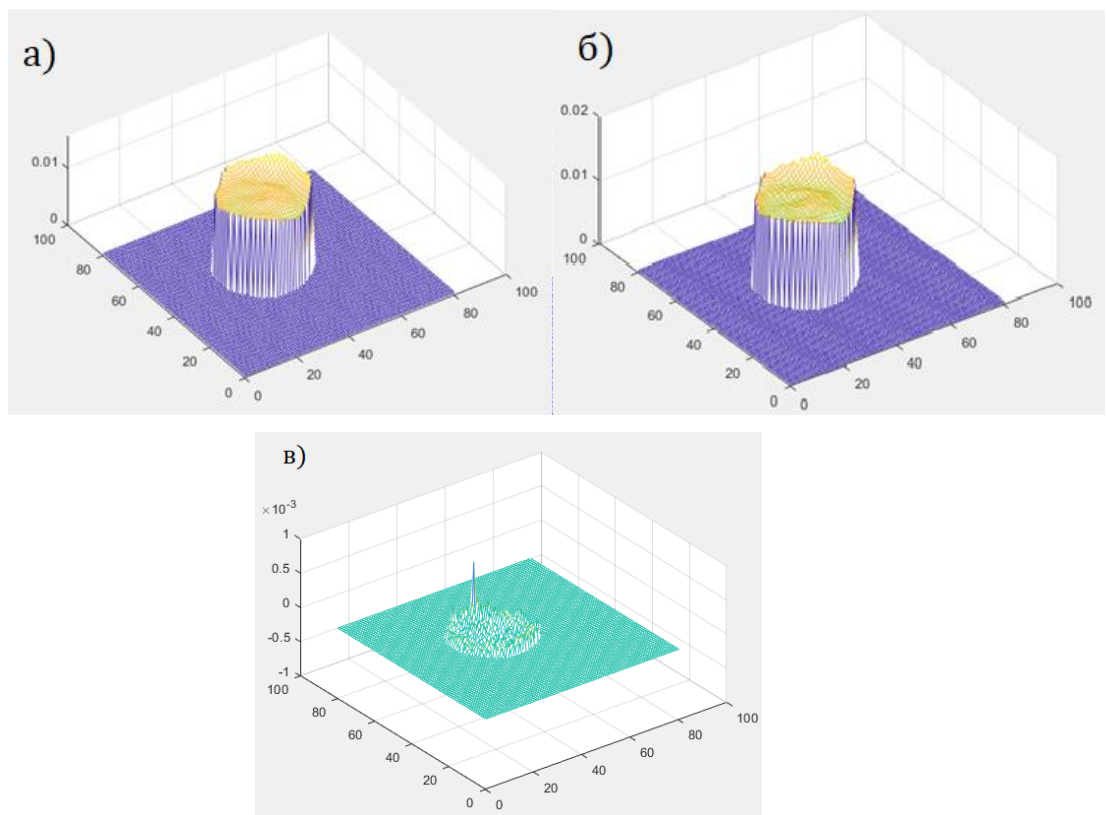


Рисунок 3.49. а) матрица со сглаженным центром; б) исходная матрица с центром; в) разность между матрицами со сглаженным и исходным центром.

4. Анализ данных

В обработку измерений массива данных функции DECAУ входит получение изображений, расчет среднего значения коэффициента затухания и квадратичного отклонения обработанных данных (приложение 1).

Для обработки массива значений функции TOF нужно найти координаты (x, y, z) центра образца для того, чтобы можно было его совместить с другим образцом и сравнить (дополнительная функция), коэффициент корректировки, который характеризуется как угловое отклонение, которое возникает при прохождении ультразвуковой волны через поверхности образца. За счет нахождения коэффициента корректировки мы можем его умножить на массив данных функции DECAУ и найти более приближенные значения к реальному.

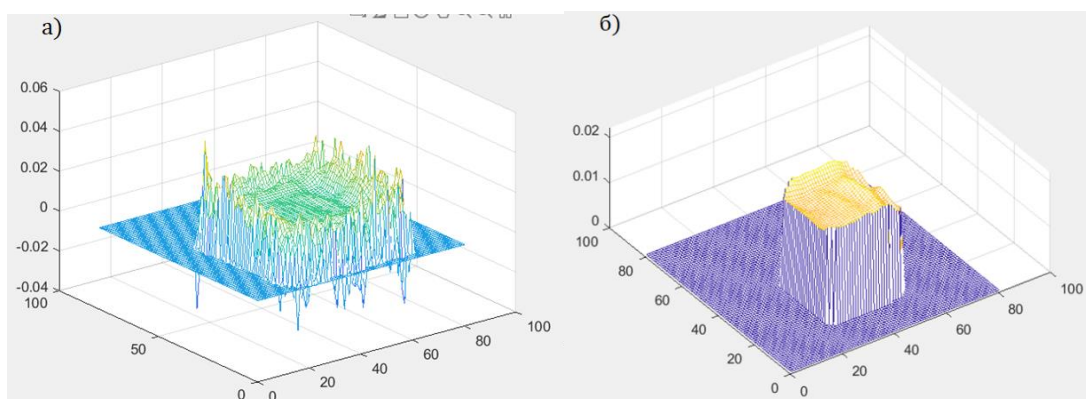
4.1. Результаты обработки массива данных функции DECAУ

При обработке результатов измерений образцов обработанные данные были разделены на следующие три группы:

- Хорошие образцы
- Образцы с небольшими дефектами
- Плохие образцы

4.1.1. Образцы с равномерными входными значениями

В основном исходные данные не имеют каких-то дырок в центре образца, то есть дефектов, и четко видна форма образца. И разница между сглаженными данными и исходными примерно составляет порядка 10^{-3} Нп/мм или меньше.



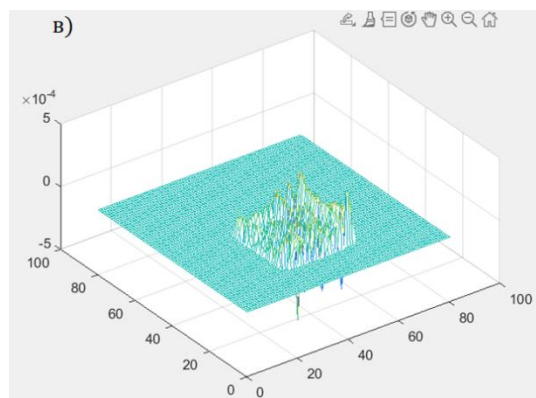


Рисунок 4.1. а) исходные необработанные данные; б) сглаженные данные с центром; в) разность между матрицами со сглаженным и исходным центром.

4.1.2. Образцы с небольшими дефектами

Такие образцы имеют хорошо очерченную форму, как и у хороших, но присутствуют небольшие дефекты в образце обычно в центре или ближе к краю образца. К сожалению, такие дефекты влияют на результат квадратичного отклонения. И их разница между сглаженными и исходными данными составляют порядка 0.01–0.1.

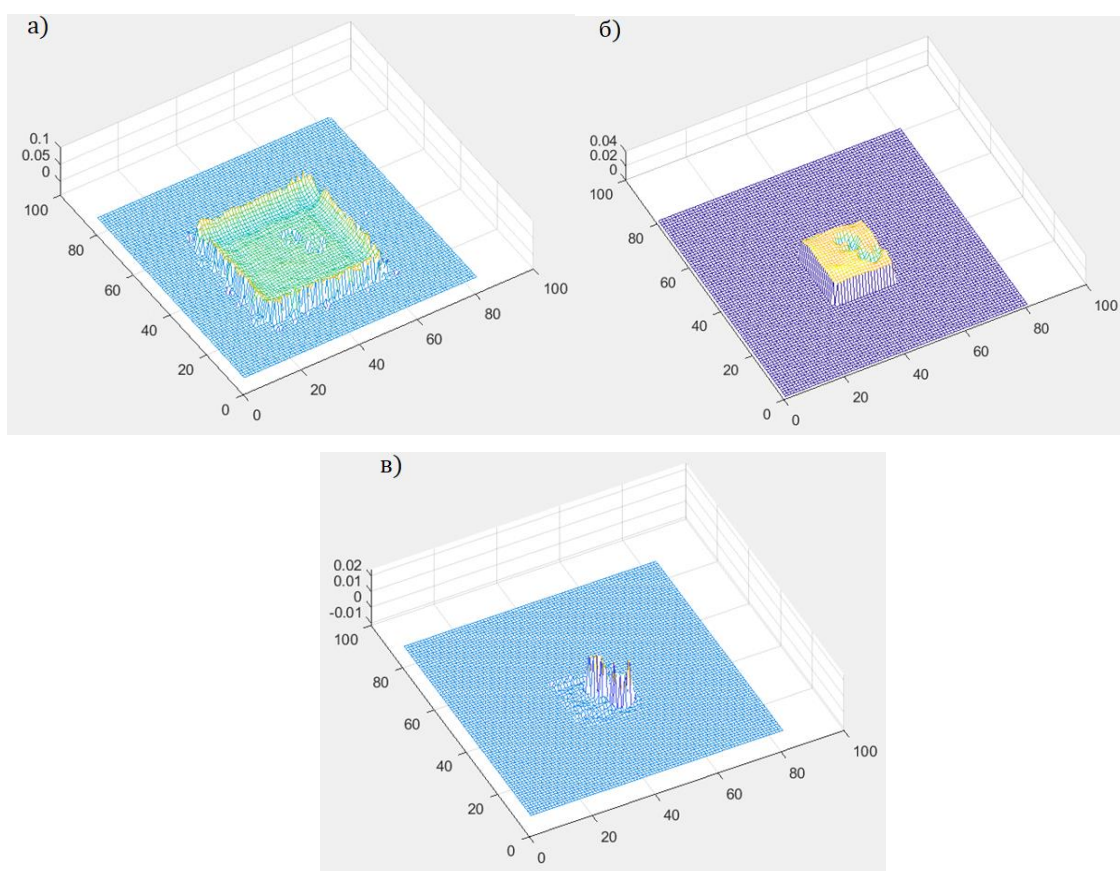


Рисунок 4.2. а) исходные необработанные данные с дырками внутри; б) сглаженные данные с центром с дырками; в) разность между матрицами со сглаженным и исходным центром.

4.1.3. Образцы с наибольшими дефектами

Данные образцы либо вообще не имеют данных, либо образец в исходном виде представляется съезженным, либо в центре образца имеется большое количество дефектов. Собственно результаты среднего значения и квадратичного отклонения являются либо нулевыми, либо недостоверными.

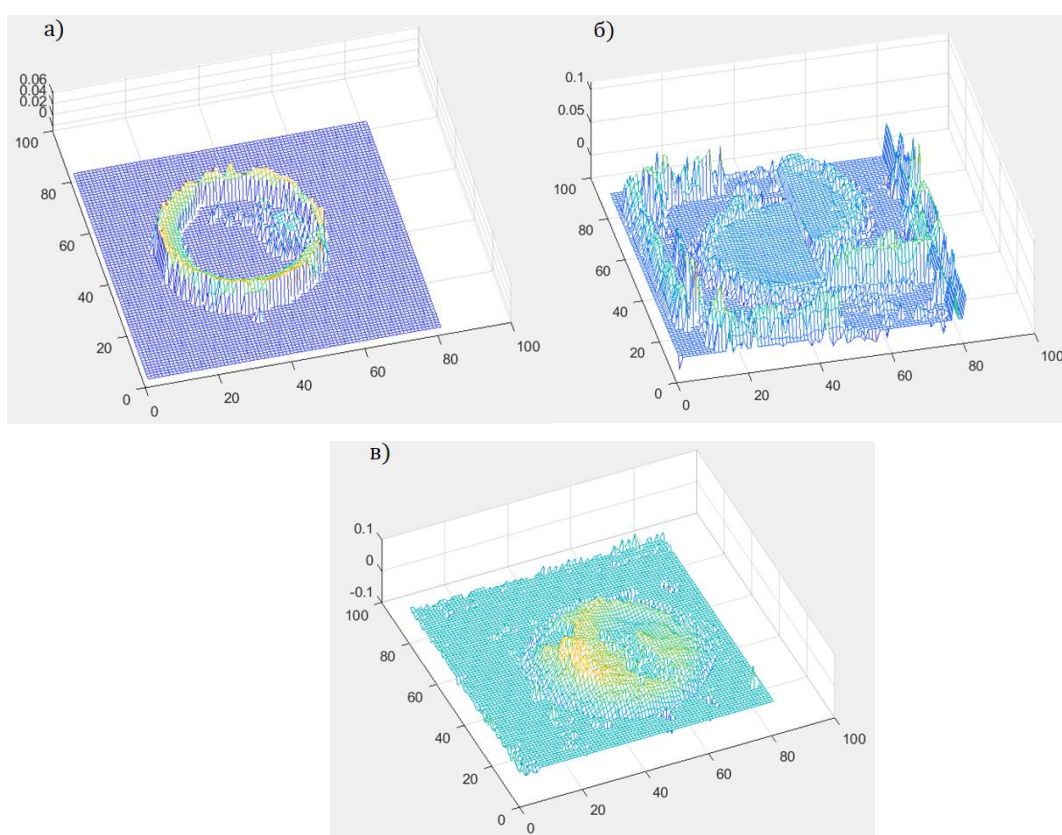


Рисунок 4.3. а) исходные необработанные нулевые данные; б) исходные необработанные данные с испорченной формой образца; в) исходные необработанные данные с множеством дырок.

4.2. Расчет среднего значения и квадратичного отклонения массива данных функции DECAУ

Для того чтобы рассчитать среднее значение и квадратичное отклонение воспользуемся следующими функциями.

Для расчета среднего значения используем функцию `mx = mean(X)`. В случае одномерного массива возвращает арифметическое среднее элементов массива; в случае двумерного массива – это, вектор-строка, содержащая арифметическое среднее элементов каждого столбца. Таким образом, `mean(mean(X))` - это арифметическое среднее (математическое ожидание) элементов массива, что совпадает со значением `mean(X(:))` [17].

Для расчета квадратичного отклонения используем функцию `sx = std(X)` в случае одномерного массива возвращает стандартное отклонение элементов массива; в случае двумерного массива – это, вектор-строка, содержащая стандартное отклонение элементов каждого столбца [18].

При использовании данных функций расчет будет производиться включая все элементы массива, в том числе и нулей. Так как нам нужен расчет только ненулевых значений в матрице, нужно использовать дополнение к данным функция. К сожалению, к данным функциям не имеется опция, которая брала бы в расчет ненулевые значения. Но есть функция, которая не учитывает значения NaN, то есть нечисловые значения.

`M = mean(___, nanflag)` задает, включать ли или не использовать NaN значения от вычисления для любого из предыдущих синтаксисов. `mean(A, 'includenan')` включает весь NaN значения в вычислении, в то время как `mean(A, 'omitnan')` игнорирует их [17].

Поэтому нужно преобразовать все нулевые значения в матрице в NaN. Сделаем это с помощью цикла:

```
new_Itog_end=Itog_end;

for i=1:4
    lay=Itog_end(:, :, i);
    for j=1:81
        column=lay(:, j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if Itog_end(k, j, i)==0
                new_Itog_end(k, j, i)=NaN; \\ присваивание нулевым
значениям значения NaN
            end
        end
    end
end
```


end

Далее используем функции для нахождения среднего значения и квадратичного отклонения:

```
M = mean( new_Itog_end(:, :, 1), 'omitnan' );  
MM = mean(M, 'omitnan' ) \\ среднее значение  
S = std(new_Itog_end(:, :, 1), 'omitnan');  
SS = std(S, 'omitnan') \\ квадратичное отклонение
```

Командная строка:

```
MM = 0.0225 (Нп/мм) \\ среднее значение коэффициента затухания  
SS = 5.7793e-04 (Нп/мм) \\ квадратичное отклонение
```

Также были посчитаны средние значения и квадратичные отклонения других образцов. Результаты представлены в приложении 1 в виде таблиц.

4.3. Обработка массива данных функции TOF

Так как при измерении скорости продольной волны в образце, значения функции TOF изменяется не значительно, датчик может уловить сигнал от верхней и нижней поверхности, что позволяет рассчитать систематическую ошибку, которая заключается в угловом отклонении продольной волны в образце.

Для нахождения коэффициента корректировки нужно:

- Выделить данные нижней и верхней поверхностей для скорости продольной волны (массив данных функции TOF)
- Обработать массив значений функции TOF (наложение маски, сглаживание)
- Найти нормали в каждой точке
- Рассчитать углы между векторами нормали и перпендикуляром к образцу
- Вычислить косинус каждого угла для верхней и нижней поверхности
- По формуле рассчитать коэффициент корректировки
- Умножить на массив значений функции DECAУ

Также нужно найти координаты центра образца для дальнейшей работы,

что понадобится для совмещения с другими данными образца при сравнении результатов.

4.3.1. Добавление значений поверхностного и первого донного сигнала

Для массива значений функции TOF нужно добавить еще два слоя, где 4 слой характеризует поверхностный сигнал, 5 слой- первый донный сигнал (рисунок 4.4).

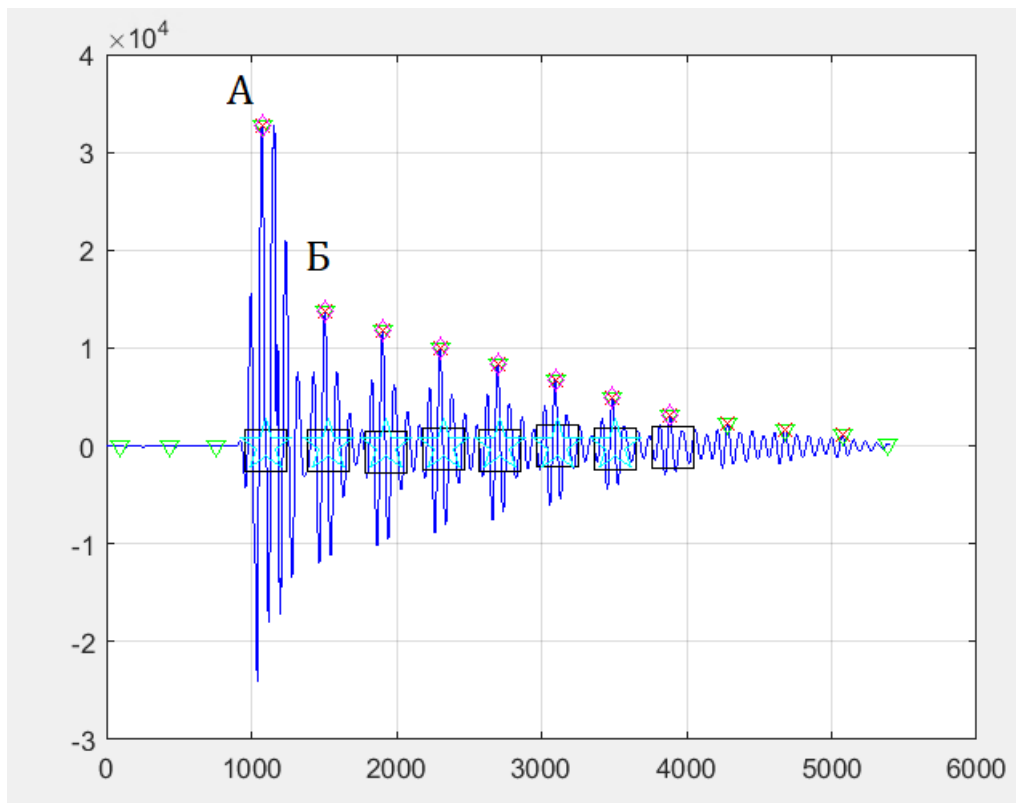


Рисунок 4.4. Значение в точке А - поверхностный сигнал, значение в точке Б – первый донный сигнал (по оси x – время, y – амплитуда)

Для того, чтобы их добавить нужно изменить входной m-файл, который рассчитывает значения для массива функции TOF. Создаем внутри этого файла для начала нулевую матрицу со следующей размерностью:

```
tof2d = zeros(:, :, 5);
```

Далее в конце цикла присваиваем значения, где 4 слой характеризует поверхностный сигнал, 5 слой- первый донный сигнал:

```
tof2d(i,k,4) = fine_locs(1); \\пик поверхностного сигнала  
tof2d(i,k,5) = fine_locs(2); \\ пик первого донного сигнала
```

И во входных данных присваиваем измененный m-файл:

```
parse_bin_data
```



```

full=load_vol_file('SCI_HIFREQ_n0');
max=get_spt_max(full);
mesh(max);
figure;
tof=get_spt_tof_point(double(full),300,0.01,0,1,41,41)
figure;
full_tof=get_spt_tof2(double(full),300,0.01,0,1);\\ использование
массива с добавленными 4 и 5 слоями
mesh(full_tof(:, :, 1))

```

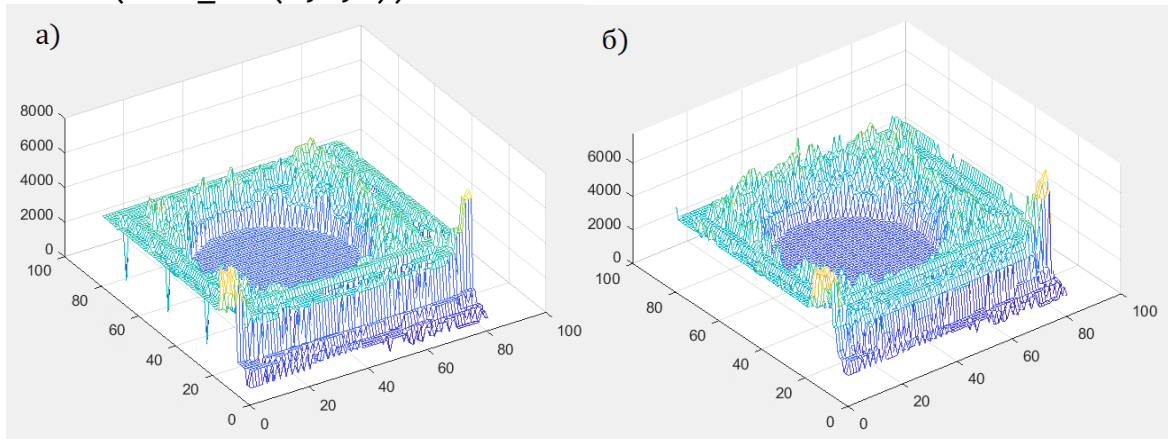


Рисунок 4.5. а) значения поверхностного сигнала; б) значения первого донного сигнала.

4.3.2. Наложение маски и сглаживание массива данных функции ТОФ

Для наложения маски и сглаживания значений, нанесем ту же маску, что и использовали для значений функции DECAУ. Только здесь наш массив имеет пять слоев, поэтому нужно создать маску с пятью слоями.

```

h3=zeros(81,81,5);\\создание маски
h3(:, :, 1)=h1;
h3(:, :, 2)=h1;
h3(:, :, 3)=h1;
h3(:, :, 4)=h1;
h3(:, :, 5)=h1;
maska_tof=h3.*full_tof;
figure; mesh(maska_tof(:, :, 1))\\ отображение первого слоя

```

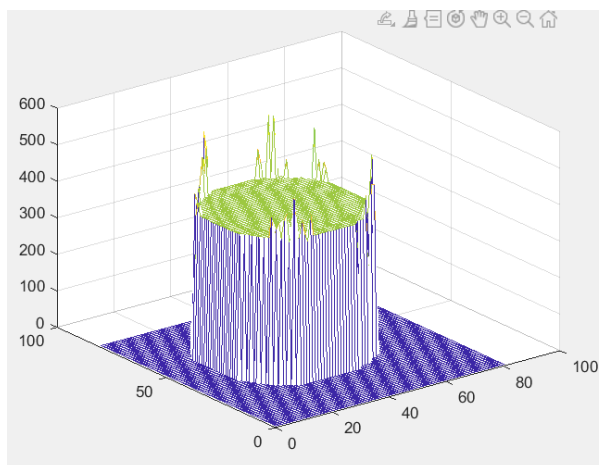


Рисунок 4.6. Отображение первого слоя массива данных функции TOF с нанесенной маской.

Далее профилируем с помощью гауссовского фильтра, который мы использовали для значений функции DECAУ и умножим сразу на маску, чтобы не было лишних появившихся границ после сглаживания:

```
mS3xx_f=imfilter(maska_tof,S3);\\гауссовская фильтрация
MS3xx_f=mS3xx_f.*h3;\\наложение маски
figure; mesh(MS3xx_f(:, :,1))
```

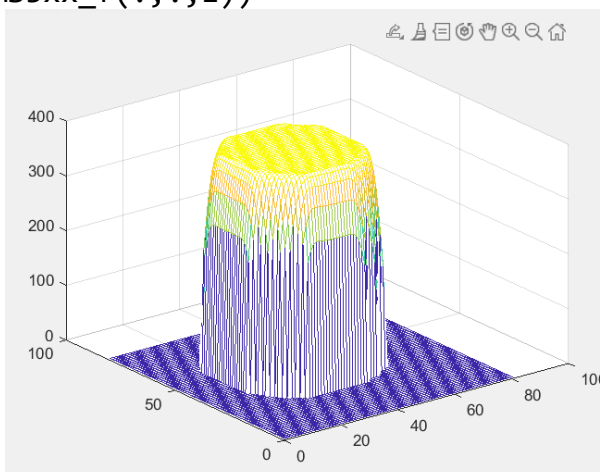


Рисунок 4.7. Отображение первого слоя массива данных функции TOF с нанесенной маской и фильтрацией.

Далее выделяем также центр значений, для того чтобы последующие расчеты производились с большой точностью.

```
mgran1=edge(h3(:, :,1), 'canny');
se=strel('square',14);
mI1=imdilate(mgran1,se);\\ уширение кольца на несколько пикселей
h4=zeros(81,81,5);\\создание маски кольца
h4(:, :,1)=mI1;
h4(:, :,2)=mI1;
h4(:, :,3)=mI1;
h4(:, :,4)=mI1;
h4(:, :,5)=mI1;
```

```

mItog=h4.*MS3xx_f; \\умножаем маску кольца на значения
mItog1=h3.*mItog;
mItog_end=MS3xx_f-mItog1; \\получение центральных значений

```

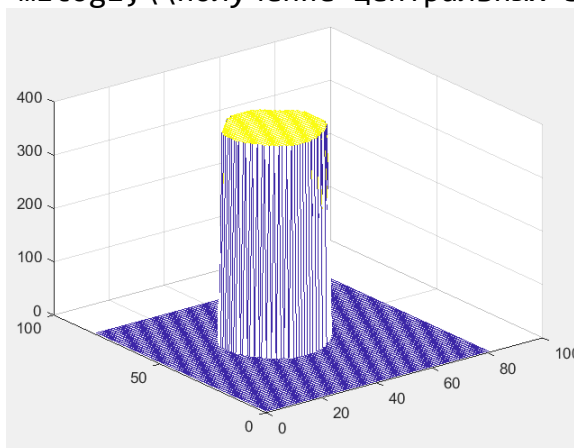


Рисунок 4.8. Отображение центральных значений первого слоя массива данных функции ТОФ.

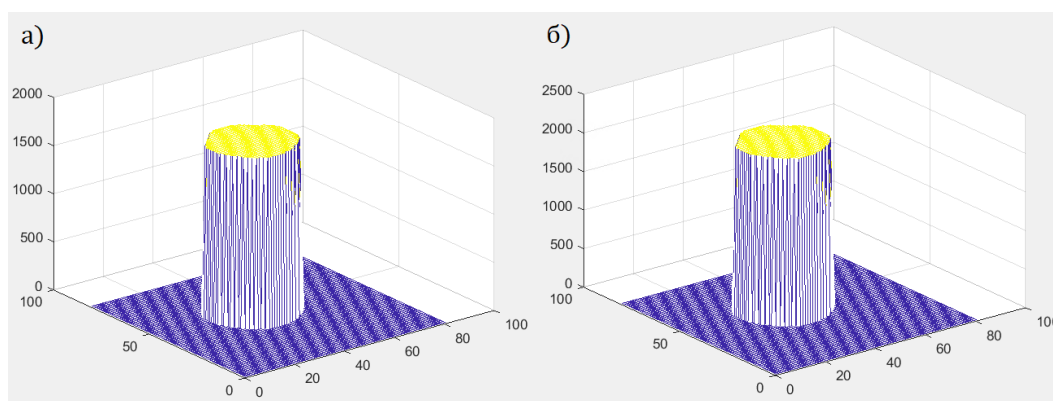


Рисунок 4.9. Отображение центральных значений массива функции ТОФ. а) 4 слой; б) 5 слой.

4.3.3. Нахождение центров массива данных функции ТОФ

Для того, чтобы в дальнейшем можно было совместить данные образца с другим нужно найти координаты центра образца. Чтобы найти координаты центральной точки, понадобится всего один слой значений функции ТОФ, так как последующие слои будут иметь те же значения.

Для начала переведем наш массив значений в бинарную матрицу с помощью функции `bwmorph`:

```
chb=bwmorph(mItog_end(:,:,1),'close');
```

Данная функция рассматривалась ранее для создания маски значений функции DECAУ.

Далее мы создаем размечающую матрицу, которая состоит из компонент связности (рисунок 4.10). Для это используем функцию `bwlabel`, которая находит все компоненты связности двоичного изображения. Форма ее вызова имеет:

`[L, num]=bwlabel(chb),`

где `chb` – входная двоичная матрица, `L` – размечающая матрица, `num` – общее число компонент связности [1]

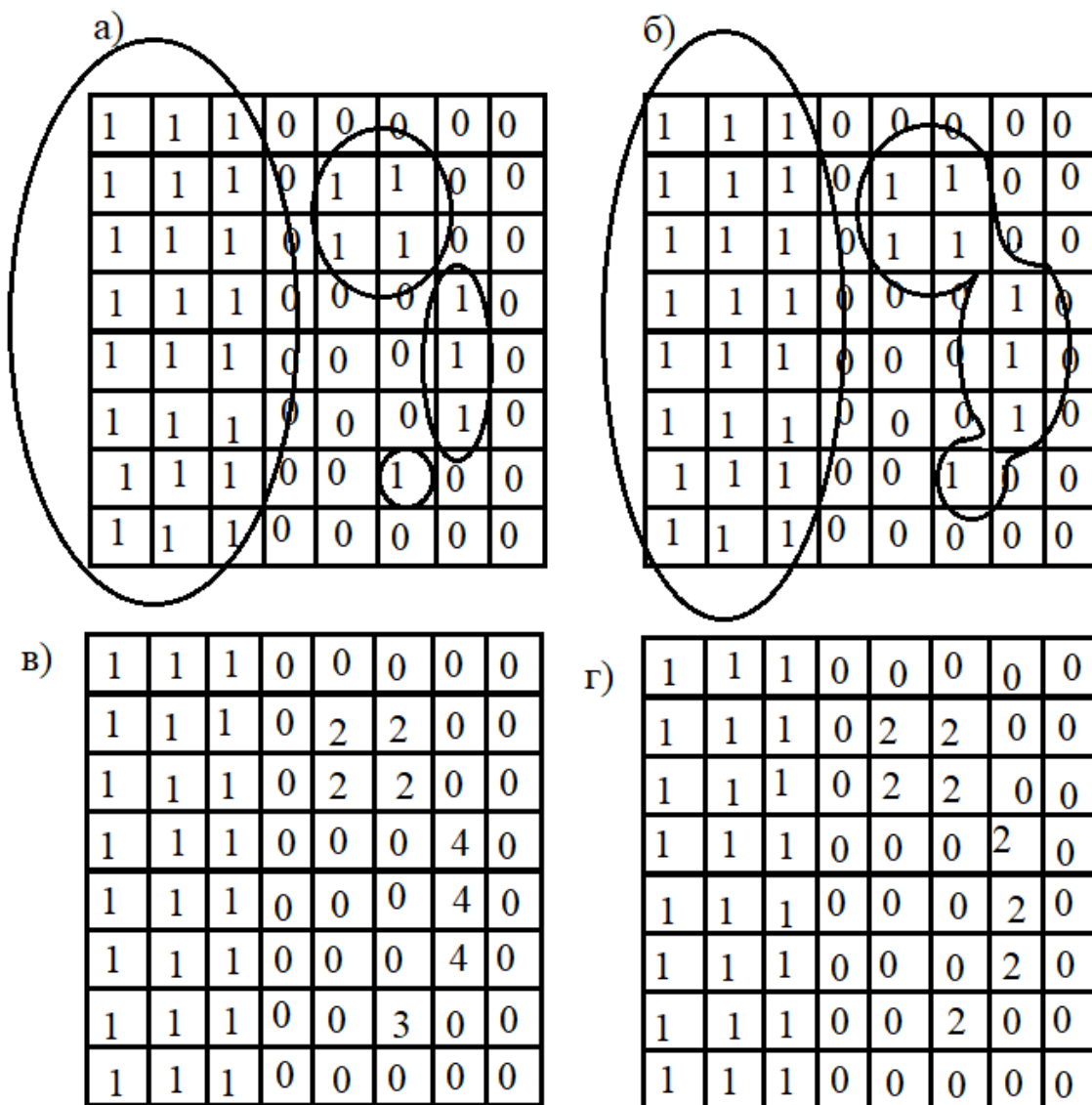


Рисунок 4.10. Компоненты связности. а) Четыре 4-связные компоненты. б) Две 8-связные компоненты. в) Размечающая матрица, полученная для 4-связности. г) Размечающая матрица, полученная для 8-связности.

Далее с помощью функции `find` находим индексы строк и столбцов всех пикселей, принадлежащей для заданной компоненты, в нашем случае для 1

объекта. В принципе у нас будет только один объект в размечающей матрице.

```
[R,C]=find(L==1);
```

Далее функция `mean` вычисляет центры масс данного объекта:

```
rbar=mean(R);
```

```
cbar=mean(C);
```

Так как значения могут быть не целые, для этого округляем с помощью функции `ceil` округляем центры масс объекта и получаем наши координаты по оси x и y . Для z просто находим значение в матрице по данным координатам x и y [9].

```
XXX=ceil(cbar)\\ округляем для x-координаты
```

```
YYY=ceil(rbar)\\ округляем для y-координаты
```

```
center=mItoq_end(YYY,XXX,1)\\ находим для z-координаты
```

Вывод на консоли:

```
XXX =43
```

```
YYY =39
```

```
center = 398.3611
```

4.3.4. Нахождение углов между нормальными точками в массиве значений функции TOF

Нужно найти косинусы углов между векторами нормали точек поверхности для 4 и 5 слоя массива значений TOF, то есть нижней и верхней поверхности, относительно перпендикуляра к поверхности образца (рисунок 4.11). Для этого напишем цикл, который будет считать косинус угла между данными векторами. Косинус угла между векторами определяется через отношение скалярного произведения к произведению модулей векторов.

$$\cos\varphi = \frac{x_1 \cdot x_2 + y_1 \cdot y_2 + z_1 \cdot z_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}}, \quad (4.1)$$

где (x_1, y_1, z_1) координаты первого вектора, (x_2, y_2, z_2) координаты второго вектора. φ_2

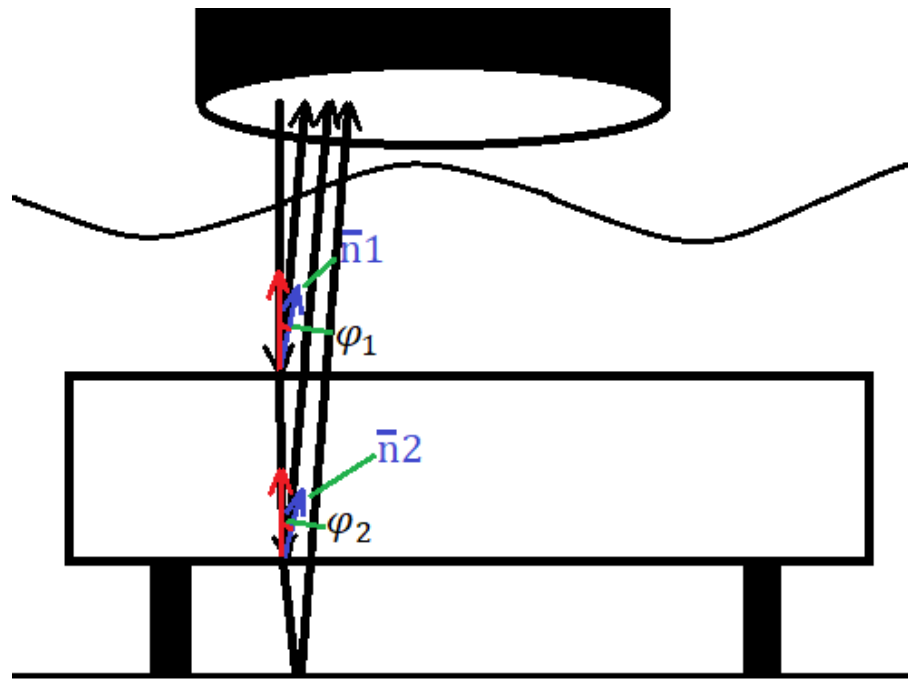


Рисунок 4.11. Прохождение волны через образец, где n_1 и n_2 вектора нормали в точке верхней и нижней поверхностей образца соответственно, φ_1 и φ_2 углы между нормальными и перпендикуляром.

Но для начала нужно найти координаты нормалей каждой точки. Воспользуемся следующей функцией:

```
[Nx, Ny, Nz] = surfnorm(____)
```

Данная функция возвращает x , y и компоненты z 3D поверхностных нормалей для поверхности. `Surfnorm` бикубическая интерполяция использования в x , y и направлениях z , чтобы вычислить поверхностные нормали данных. N_x - поверхностный нормальный x - компонент, возвращенный как матрица. Аналогично для y , z [19].

Так как при вычислении координат нормалей, по компоненте z в матрице N_z на месте, где в изначальной матрице были нулевые значения, появляются единицы. Для этого мы переведем все значения равные единице в нули для того, чтобы было удобней рассчитать косинусы углов.

Ниже представлен код для расчета углов для 4 и 5 слоя (верхней и нижней поверхности соответственно):

\\ расчет для верхней поверхности:

```
[N4x,N4y,N4z] = surfnorm(mItog_end(:,:,4)); %%функция находит
координаты нормалей и записывает их в виде матрицы
```

```
%figure; quiver3(mItog_end(:,:,4),N4x,N4y,N4z)
```

```
new_N4z=N4z; %%где были изначально z=0 в координатах нормалей они равны
1, для дальнейшего расчета будет удобней единицы приравнять к нулю
```

```
for j=1:81
    column=N4z(:,j);
    for k=1:81
        value=column(k);
        if N4z(k, j)==1
            new_N4z(k, j)=0;
        end
    end
end
```

```
Normal4=zeros(81,81,3); %%создаем массив для координат нормалей
Normal4(:,:,1)=N4x; %%значения координаты по x
Normal4(:,:,2)=N4y; %%значения координаты по y
Normal4(:,:,3)=N4z; %%значения координаты по z
```

```
new_Normal4=Normal4;
```

```
for i=1:3
    lay=Normal4(:,:,i);
    for j=1:81
        column=lay(:,j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if Normal4(k, j, i)~=0
                koren4=sqrt(1).*sqrt(Normal4(k, j, 1).^2+Normal4(k, j,
2).^2+Normal4(k, j, 3).^2); %%расчет знаменателя
                ko4=(0.*Normal4(k, j, 1)+ 0.*Normal4(k, j, 2)+1.*Normal4(k, j,
3))/koren4; %%расчет косинуса
                f4=acosd(ko4);%% расчет угла
                new_Normal4(k,j,i)=f4; %% в новую матрицу записываем
значения углов
            end
        end
    end
end
```

```
figure; mesh(new_Normal4(:,:,1))
%% аналогично расчет для нижней поверхности:
[N5x,N5y,N5z] = surfnorm(mItog_end(:,:,5));
%figure; quiver3(mItog_end(:,:,5),N5x,N5y,N5z)
```

```

new_N5z=N5z;

for j=1:81
    column=N5z(:,j);
    for k=1:81
        value=column(k);
        if N5z(k, j)==1
            new_N5z(k, j)=0;
        end
    end
end

Normal5=zeros(81,81,3);
Normal5(:,:,1)=N5x;
Normal5(:,:,2)=N5y;
Normal5(:,:,3)=N5z;

new_Normal5=Normal5;

for i=1:3
    lay=Normal5(:,:,i);
    for j=1:81
        column=lay(:,j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if Normal5(k, j, i)~=0
                koren5=sqrt(1.*sqrt(Normal5(k, j, 1).^2+Normal5(k, j,
2).^2+Normal5(k, j, 3).^2);
                ko5=(0.*Normal5(k, j, 1)+ 0.*Normal5(k, j, 2)+1.*Normal5(k, j,
3))/koren5;
                f5=acosd(ko5);
                new_Normal5(k,j,i)=f5;
            end
        end
    end
end
end

```

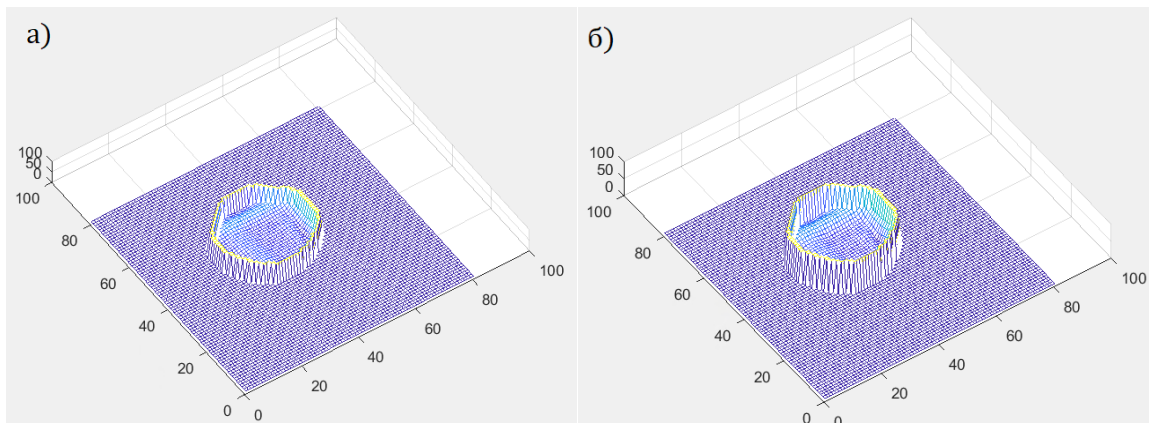


Рисунок 4.12. Отображение углов в градусах массива данных функции TOF. а) 4 слой;
б) 5 слой.

4.3.5. Вычисление коэффициента корректировки

Для вычисления коэффициента корректировки нам нужны будут значения углов, рассчитанных в пункте 4.3.4. Нужно рассчитать коэффициенты отдельно для верхней и нижней поверхности, то есть для 4 и 5 слоя массива данных функции TOF. Рассчитываем коэффициент корректировки по следующей формуле:

$$P_i = \cos 2(90^\circ - \alpha_i), \quad (4.2)$$

где P_i – коэффициент корректировки для данной поверхности, α_i – массив углов, рассчитанных для данной поверхности. Расчет коэффициента корректировки для нижней и верхней поверхности производится по формуле (4.2).

После нахождения коэффициента корректировки для 4 и 5 слоя, умножим оба значения на массив коэффициента затухания функции DECAУ.

$$DECAУ \cdot P_4 \cdot P_5 = New_DECAУ, \quad (4.3)$$

где P_4 – коэффициент корректировки для верхней поверхности, P_5 – коэффициент корректировки для нижней поверхности, $New_DECAУ$ – массив значений коэффициента затухания с учетом коэффициента корректировки.

Код с комментариями для расчета коэффициента корректировки для поверхностей, и массива значений с учетом коэффициента корректировки представлен ниже:

```
Itog_normal4=new_Normal4;\\создаем массив для значений коэффициента кор-
ректировки
for i=1:3
    lay=new_Normal4(:, :, i);
    for j=1:81
        column=lay(:, j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if new_Normal4(k, j, i)~=0
                grad4=2.*(90-new_Normal4(k, j, i));\\вычисление аргумента (угла)
                P4=cosd(grad4);\\ вычисление косинуса (коэффициента коррекци-
                ровки)
                Itog_normal4(k, j, i)=P4;\\ записываем данные в новый массив
            end
        end
    end
end
```

```

end
%figure; mesh(Itog_normal4(:,:,1))

Itog_end4=zeros(81,81,3);
Itog_end4(:,:,1)=Itog_end(:,:,1);
Itog_end4(:,:,2)=Itog_end(:,:,2);
Itog_end4(:,:,3)=Itog_end(:,:,3);

\\ создание маски для коэффициента корректировки для рассмотрения более
центральной области
gran14=edge(full_decay_clean(:,:,1), 'canny');
se=strel('square',20);
I14=imdilate(gran14,se);

h24=zeros(81,81,4);
h24(:,:,1)=I14;
h24(:,:,2)=I14;
h24(:,:,3)=I14;
h24(:,:,4)=I14;
Itog4=h24.*S3xx_f;
Itog14=h11.*Itog4;
Itog_end44=IS3xx_f-Itog14;
n4=bwmorph(Itog_end44(:,:,1), 'close');

Itog_normalm4=Itog_normal4(:,:,1).*n4;
%figure; mesh(Itog_normalm4(:,:,1))
idecay=Itog_end4.*n4;
TTT4=idecay.*Itog_normalm4; \\умножение массива данных функции DECAУ на
коэффициент корректировки для 4 слоя
%figure; mesh(TTT4(:,:,1))

\\ Проверка на случайные значения, которые могут выбиваться и их устра-
нение для массива данных функции DECAУ с учетом коэффициента коррекци-
ровки 4 слоя

new_TTT4=TTT4;
for i=1:81
    lay=new_TTT4(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if TTT4(j,i)>1
            sum=TTT4(j-1,i+1)+TTT4(j-1,i)+TTT4(j-1,i-
1)+TTT4(j,i+1)+TTT4(j,i-1)+TTT4(j+1,i+1)+TTT4(j+1,i)+TTT4(j+1,i-1);
            sred=sum./8;
            new_TTT4(j,i)=sred;
        end
    end
end
%figure; mesh(new_TTT4(:,:,1))
\\ вычисление коэффициента корректировки для 5 слоя аналогично:

```

```

Itog_normal5=new_Normal5;
for i=1:3
    lay=new_Normal5(:, :, i);
    for j=1:81
        column=lay(:, j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if new_Normal5(k, j, i)~=0
                grad5=2.*(90-new_Normal5(k, j, i));
                P5=cosd(grad5);
                Itog_normal5(k, j, i)=P5;
            end
        end
    end
end
end
%figure; mesh(Itog_normal5(:, :, 1))

Itog_normalm5=Itog_normal5(:, :, 1).*n4;\ \ умножаем на маску как и для 4
слоя

TTT5=new_TTT4.*Itog_normalm5;\ \ умножение массива данных функции DECAУ с
учетом коэффициента корректировки 4 слоя на коэффициент корректировки 5
слоя
%figure; mesh(TTT5(:, :, 1))
\ \ Проверка на случайные значения, которые могут выбиваться и их устра-
нение для массива данных функции DECAУ с учетом коэффициента корректи-
ровки 4 и 5 слоя:
new_TTT5=TTT5;
for i=1:81
    lay=new_TTT5(:, i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if TTT5( j, i)>0.1 || TTT5( j, i)<(-0.1)

            new_TTT5(j, i)=0;

        end
    end
end
end
%figure; mesh(new_TTT5(:, :, 1))

Itog_TTT5=new_TTT5;
for i=2:80
    lay=Itog_TTT5(:, i);
    for j=2:80
        column=lay(j);
        if new_TTT5( j, i)==0
            sum5=new_TTT5(j-1, i+1)+new_TTT5(j-1, i)+new_TTT5(j-1, i-
1)+new_TTT5(j, i+1)+new_TTT5(j, i-
1)+new_TTT5(j+1, i+1)+new_TTT5(j+1, i)+new_TTT5(j+1, i-1);

```

```

        sred5=sum5./8;
        Itog_TTT5(j,i)=sred5;

    end
end
end
%figure; mesh(Itog_TTT5(:,:,1))

\\ умножаем еще раз на маску с меньшим размером, чтобы рассмотреть более
детально как меняется поверхность массива данных функции DECAУ:

gran14=edge(full_decay_clean(:,:,1), 'canny');
se=strel('square',28);
I14=imdilate(gran14,se);

h24=zeros(81,81,4);
h24(:,:,1)=I14;
h24(:,:,2)=I14;
h24(:,:,3)=I14;
h24(:,:,4)=I14;
Itog4=h24.*S3xx_f;
Itog14=h11.*Itog4;
Itog_end44=IS3xx_f-Itog14;
n5=bwmorph(Itog_end44(:,:,1), 'close');
Itog_TTT55=Itog_TTT5(:,:,1).*n5;
\\ чтобы рассчитать среднее значение коэффициента затухания переведем ну-
левые значения в NaN, также для удобства можно будет рассмотреть хорошо
поверхность
new_Itog_TTT5=Itog_TTT55(:,:,1);

for i=1:81
    lay=new_Itog_TTT5(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if Itog_TTT55( j, i)==0
            new_Itog_TTT5( j, i)=NaN;
        end
    end
end
end
figure; mesh(new_Itog_TTT5(:,:,1))
\\ расчет среднего значения и квадратичного отклонения:
M5 = mean( new_Itog_TTT5(:,:,1), 'omitnan' );
MM5 = mean(M5, 'omitnan' )
S5 = std(new_Itog_TTT5(:,:,1), 'omitnan');
SS5 = std(S5, 'omitnan')
\\ массив данных функции DECAУ до учета коэффициента корректировки; также
переведем нулевые значения в NaN для удобства сравнения изображений
idm=new_Itog_end(:,:,1).*n5;

```

```

new_idm=idm;

for i=1:81
    lay=new_idm(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if idm( j, i)==0
            new_idm( j, i)=NaN;
        end
    end
end
end
figure; mesh(new_idm(:,:,1))

```

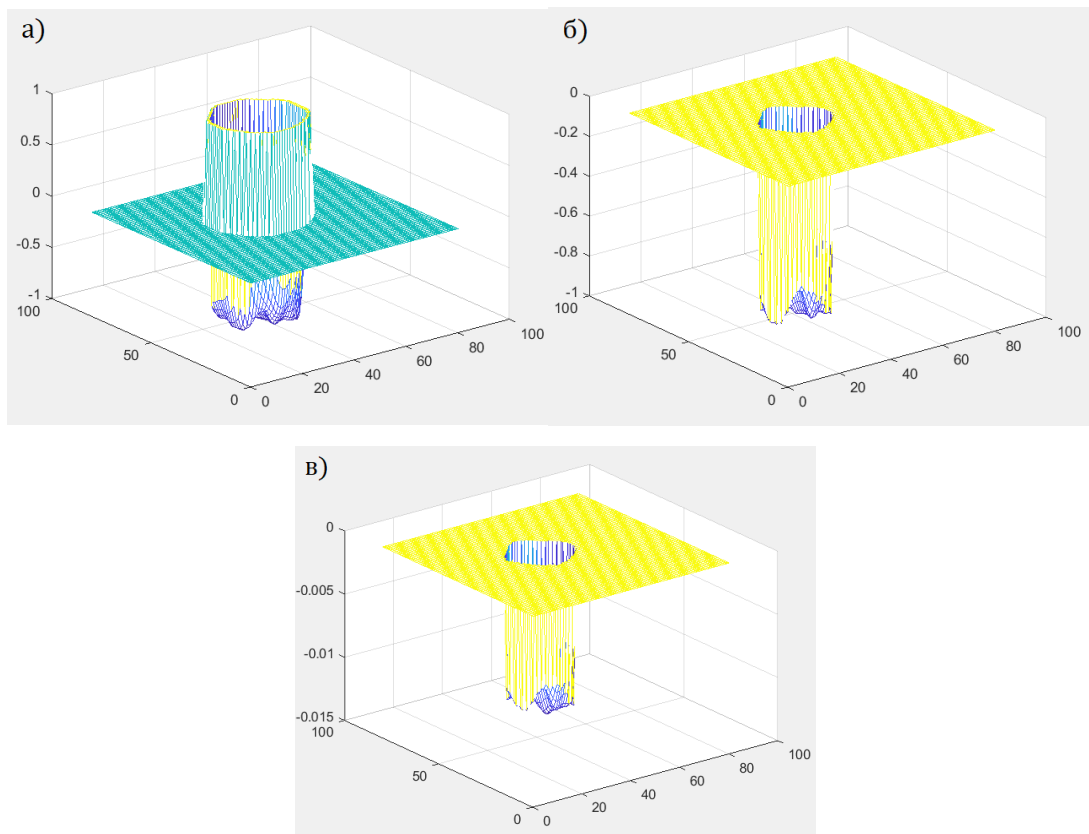
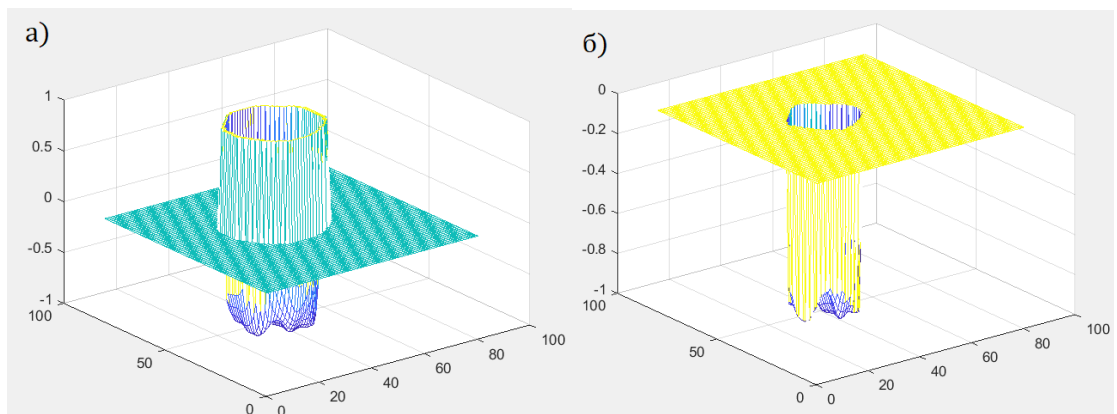


Рисунок 4.13. а) значения коэффициента корректировки для 4 слоя; б) значения коэффициента корректировки для 4 слоя с маской; в) значения массива данных функции DECAУ с учетом коэффициента корректировки 4 слоя



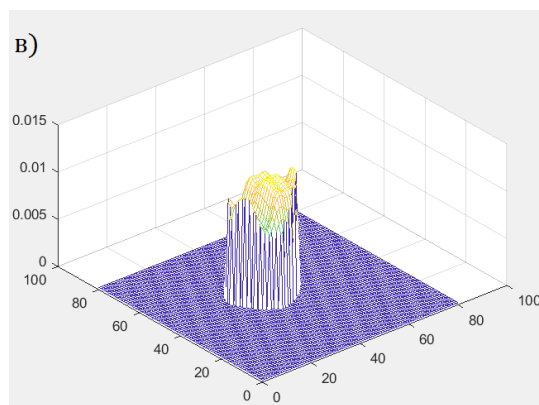


Рисунок 4.14. а) значения коэффициента корректировки для 5 слоя; б) значения коэффициента корректировки для 5 слоя с маской; в) значения массива данных функции DECAУ с учетом коэффициента корректировки 4 и 5 слоя

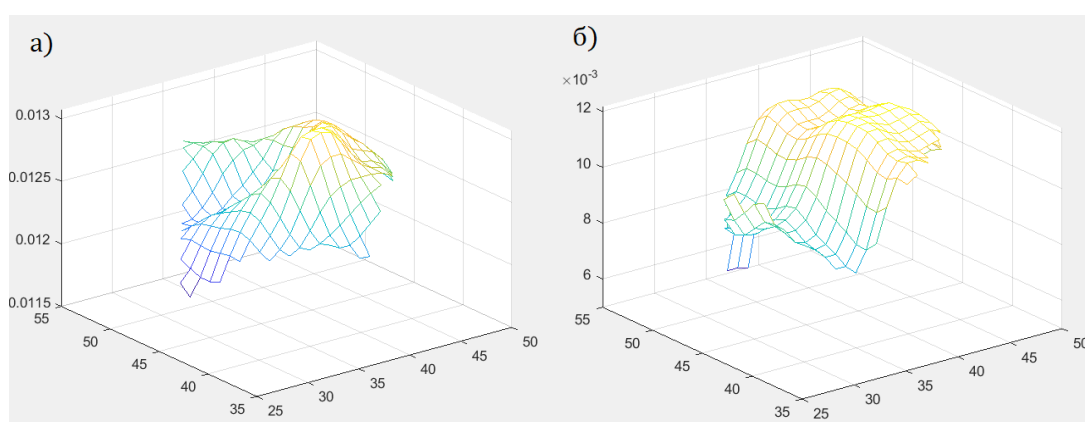


Рисунок 4.15. а) поверхность массива данных функции DECAУ без корректировки; б) поверхность массива данных функции DECAУ с учетом коэффициента корректировки 4 и 5 слоя

Были вычислены среднее значение коэффициента затухания и квадратичное отклонение массива с учетом коэффициента корректировки:

MM = 0.0108 (Нп/мм) \ \ среднее значение коэффициента затухания

SS = 1.1360e-04 (Нп/мм) \ \ квадратичное отклонение

Среднее значение коэффициента затухания и квадратичное отклонение массива без учета коэффициента корректировки:

MM = 0.0225 (Нп/мм) \ \ среднее значение коэффициента затухания

SS = 5.7793e-04 (Нп/мм) \ \ квадратичное отклонение

Если посмотреть на рисунок 4.14, то после корректировки поверхность массива данных функции DECAУ становится более равномерной и сглаженной. Также при сравнении средних значений коэффициента затухания до и после корректировки, данная величина уменьшается после проделанной операции, это

значит, что систематическая ошибка, которая заключается в угловом отклонении продольной волны, устраняется. Можно сказать, что после проделанной работы, массив значений функции DECAУ является более приближенным к реальному.

4.4. Сравнение результатов измерений среднего значения коэффициента затухания с учетом и без коэффициента корректировки

Были обработаны еще несколько образцов из циркониевого и титанового сплава. Результаты представлены в приложении 1. После обработки данных имеющихся образцов, была произведена следующая статистика уменьшения среднего значения коэффициента затухания.

При обработке образцов с дефектами циркониевого сплава среднее значение уменьшилось на 30%, образцы без дефектов – 49%. При обработке образцов с дефектами титанового сплава среднее значение уменьшилось на 48%, образцы без дефектов – 58%. При обработке образцов с дефектами титанового сплава TiVt6 среднее значение уменьшилось на 48%, образцы без дефектов – 56%.

При общем подсчете: образцы с дефектами – 42%, образцы без дефектов – 54%. И если не учитывать дефектность образцов – 48%.

5. Социальная ответственность

Введение по разделу

Объектом исследования данной ВКР является разработка алгоритма для обработки данных и сравнения ультразвуковых измерений.

В данной работе представлена разработка программы в пакете MATLAB, которая позволяет автоматизировать операции обработки и сравнения результатов измерений, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела, на персональном компьютере (ПК). Поэтому в данном разделе будут рассматриваться комплексы мер технического, организационного и правового характера, уменьшающие пагубное влияние работы с ПК. Также будут рассматриваться вопросы техники безопасности и пожарной профилактики, охраны окружающей среды и создания оптимальных условий труда.

Объект исследования данного раздела – рабочая зона офисного сотрудника, включая ПК, клавиатура, компьютерная мышь, стол, стул, а также само помещение, в котором находится офисное помещение. Рабочая зона находится в 401 аудитории 3 корпуса. В помещении имеются окна, через которые осуществляется вентиляция помещения. В зимнее время аудитория отапливается, что обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. Также используется комбинированное освещение – искусственное и естественное.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Правовые нормы трудового законодательства

В трудовом кодексе РФ содержатся основные положения отношений между работодателем и работником, включая обеспечение справедливых условий труда (безопасность и гигиена, право на отдых, ограничение рабочего

времени, ежедневный отдых, нерабочие дни и отпуск), а также оплата и нормирование труда и т. д.

Согласно трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю и ежегодный оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, работающих в условиях неполного рабочего времени, нагрузка устанавливается пропорционально занимаемой ставке [21].

Защита персональных данных работника подробно описана в главе 14 ТК РФ, также действия с персональными данными регулируются настоящим Кодексом и иными федеральными законами.

5.1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Согласно нормативному документу [22] рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда. Оно должно удовлетворять следующим требованиям: 1) обеспечивать возможность удобного выполнения работ; 2) учитывать физическую тяжесть работ; 3) учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего; 4) учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

Невыполнение требований к расположению и компоновке рабочего места может привести к получению работником производственной травмы или развития у него профессионального заболевания.

При организации рабочего места основной целью является обеспечение качественного и эффективного выполнения работы при полном использовании оборудования в соответствии с установленными сроками [23]. По санитарным требованиям и нормативам выделены следующие требования к рабочему месту:

Таблица 5.1 - Параметры рабочего места при работе с ПК

Параметры	Значение параметра	Реальные значения
Высота рабочей поверхности стола	от 600 до 800 мм	740 мм
Высота клавиатуры	600–700 мм	600 мм
Удаленность клавиатуры	Не менее 80 мм	83 мм
Удаленность экрана монитора	500–700 мм	600 мм
Высота сидения	400–500 мм	470 мм
Угол наклона монитора	0–30 град	12 град
Наклон подставки ног	0–20 град	0 град

Рабочее место в аудитории 401 соответствует санитарным требованиям и нормативам.

5.2. Производственная безопасность

5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке программы

Выбор факторов был произведен из ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [24]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде Таблицы 5.2.

Таблица 5.2 - Возможные опасные и вредные производственные факторы при работе с ПЭВМ

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Тестирование	
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

Перенапряжение зрительных анализаторов	+	+	Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
Отклонение показателей микроклимата	+	+	ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны и СанПиН 1.2.3685–21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
Повышенный уровень шума	+	+	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности.
Повышенный уровень статического электричества	+	+	ГОСТ Р 53734.1–2014 «Электростатические явления».
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание	+	+	ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ Средства защиты, работающих Общие требования и классификация. ГОСТ 12.1.019–2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

5.2.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

5.2.2.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Неудовлетворительное освещение приводит к напряжению зрения, ослаблению внимания и наступлению преждевременной утомленности. Свет на рабочем месте может создать сильные тени или отблески, а также дезориентировать работающего.

В аудитории 401 имеется естественное и искусственное освещение (совмещенное). Естественное освещение одностороннее боковое. Общее освещение складывается из естественного источника света и люминесцентных ламп.

При работе с ПЭВМ рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы мониторы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк [25]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана.

При недостаточном освещении для местного освещения рабочих мест следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящиеся элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах.

5.2.2.2. Перенапряжение зрительных анализаторов

При разработке алгоритма для обработки данных и сравнения ультразвуковых измерений требуется длительная работа с ПЭВМ, что влечет за собой перенапряжение зрительного анализатора. Эта нагрузка приводит к переутомлению функционального состояния центральной нервной системы, нервно-мышечного аппарата рук.

По нормативным документам для безопасной работы с ПЭВМ без вреда для зрительных анализаторов рекомендуется делать регламентированные перерывы и регулировать параметры монитора так, чтобы оно не оказывало негативных эффектов на зрительный анализатор. В нормативном документе [26] описано, что для категории Б1 трудовой деятельности с ПЭВМ необходимо в

суммарном 50 минут перерывов. Во время перерывов рекомендуется выполнять комплексы физических упражнений, включая упражнения для глаз.

Кроме того, можно корректно регулировать основные параметры монитора (яркость, контрастность и так далее), а также частоту обновления (при частоте меньше 75 Гц глаза человека устают быстрее).

5.2.2.3. Отклонение показателей микроклимата

Оптимальные микроклиматические при воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивают сохранение теплового состояния организма и не вызывают отклонений в состоянии здоровья. При отклонении от норм возможно временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, без нарушения здоровья.

Работа, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением, относится к категории I а [28]. Допустимые нормы микроклимата приведены в Таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более

Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

По температуре воздуха в помещении аудитория 401 соответствует нормам (23°C). В производственных помещениях, где допускаемые нормативные величины локального микроклимата поддерживать не представляется возможным, необходимо проводить мероприятия по защите работников от возможного перегревания и охлаждения. Это достигается разными способами: использование систем местного кондиционирования воздуха; регламентацией периодов работы в неблагоприятном локальном микроклимате и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние; уменьшение длительности рабочей смены и др.

5.2.2.4. Повышенный уровень шума

Излишний шум на рабочем месте приводит к снижению концентрации работника и замедляет скорость психических реакций. Шумовой фон в помещении возникает из-за работы компьютеров, телефонов и систем вентиляции.

Для избегания вышеуказанных последствий воздействия описываемого фактора необходимо соблюдать следующие требования, обозначенные в ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ [29]. В Таблице 5.4 приведены предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ в ходе программирования на рабочем месте математика-программиста.

Таблица 5.4 - Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звука (дБ)									50

86	71	61	54	49	45	42	40	38	
----	----	----	----	----	----	----	----	----	--

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума. Средства коллективной защиты: устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования; изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов); применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

5.2.2.5. Повышенный уровень статического электричества

Основным источником повышенного уровня статического электричества при работе за ПЭВМ является монитор. На экранах мониторов положительные заряды накапливаются под действием электронного пучка, создаваемые электронной лучевой трубкой [30].

При образовании заряда с большим электрическим потенциалом создается электрическое поле повышенной напряженности, которое вредно для человека. У людей, работающих в зоне воздействия электростатического поля, встречаются разнообразные жалобы: на раздражительность, головную боль, нарушение сна, снижение аппетита и др. При длительном пребывании человека в таком поле наблюдаются функциональные изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой и других системах.

Согласно ГОСТу 12.4.011–89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» к средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся: заземляющие устройства, нейтрализаторы, увлажняющие устройства, антиэлектростатические вещества и экранирующие устройства [31].

5.2.2.6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание

Поражение током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (униполярным) касанием неизолированного человека от земли к неизолированным токоведущим частям электрических установок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае повреждения изоляции;
- при контакте с полом и стенами, которые оказались под напряжением;
- в случае возможного короткого замыкания в высоковольтных блоках: блок питания, блок развертки монитора.

Нормы на допустимые токи и напряжения прикосновения в электроустановках должны устанавливаться в соответствии с предельно допустимыми уровнями воздействия на человека токов и напряжений прикосновения и утверждаться в установленном порядке.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующее: изоляция токопроводящих частей, защитное заземление, зануление, защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировки. Также на рабочем месте запрещается прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии, работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками [32].

Помимо этого, проводится ряд организационных мероприятий – специальное обучение, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала, инструктажи и т. д.

5.3. Экологическая безопасность

Объект исследования является теоретическим, но разрабатывается в компьютере. Поэтому с точки зрения влияния на окружающую среду рассмотрим влияние компьютерной техники, использованной при его разработке.

Компьютерная техника потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, поэтому по затратам на электроэнергию оно не оказывает существенной опасности для окружающего мира.

Компьютеры, утратившие потребительские свойства относятся к IV классу опасности (малоопасные отходы). Обезвреживание и размещение отходов I–IV классов опасности проводятся организациями, имеющими лицензию на осуществление этой деятельности. При неправильной утилизации компьютера может значительно пострадать экология, поэтому предлагается следующий порядок утилизации:

- 1) Удаление всех опасных компонентов;
- 2) удаление всех крупных пластиковых частей. Оставшиеся после разборки части отправляют в большой измельчитель, и все дальнейшие операции автоматизированы.
- 3) измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше.

Все полученные в ходе переработки материалы могут вторично использоваться в различных производственных процессах.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее характерной ЧС для помещения, оборудованных ЭВМ, является пожар. Причинами возникновения данного вида ЧС являются: возникновением короткого замыкания в электропроводке, возгоранием устройств ПК из-за неисправности аппаратуры, возгоранием устройств искусственного освещения, возгоранием мебели по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок [33].

Следующие меры относятся к противопожарным мерам в помещении:

- 1) Помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; должна быть исправна электрическая проводка осветительных приборов и электрооборудования.
- 2) Каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре и уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Аудитория 401 обеспечена средствами пожаротушения в соответствии с нормами и имеет: пенный огнетушитель ОП-10 – 1 шт.; углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт. Также в случае эвакуации в 10 корпусе имеются аварийные маршруты и выходы.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо проводить следующие профилактические работы, направленные на устранение возможных источников возникновения пожара: периодическая проверка проводки, отключение оборудования при покидании рабочего места, проведение с работниками инструктажа по пожарной безопасности.

5.5. Выводы по разделу

В результате анализа рабочего помещения студента, во время выполнения выпускной квалификационной работы была получена информация о том, что помещение соответствует всем санитарным требованиям организации работы сотрудника за персональным компьютером. Были проанализированы вопросы организации рабочего пространства, снижения влияния возникающих опасных и вредных факторов на организм человека, вопросы экологической безопасности и безопасности во время чрезвычайных ситуаций.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение по разделу

В ходе научных исследований необходимо производить поиск источников финансирования, которые позволят раскрыть коммерческий потенциал исследования. Для этого исследователь должен определить состояние и перспективы своих научных работ. Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для создания программного обеспечения в пакете MATLAB, которое позволяет автоматизировать операции обработки и сравнения результатов измерений, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований, провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта, произвести планирование научно-исследовательских работ, определить бюджет научного проекта и ресурсоэффективность проекта [35].

6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

При получении данных измерений результатов, полученных на установке ультразвукового анализа твердого тела, требуется дополнительная обработка для получения более достоверных данных, поэтому для решения данной проблемы требуется разработка алгоритма, которая позволяет автоматизировать операции обработки и сравнения результатов измерений.

6.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, приведенной в Таблице 6.1 [36]. Для оценки эффективности научной разработки сравниваются проектируемая система для автоматизированного комплекса и сторонняя разработка алгоритма. В качестве сторонней разработки алгоритма разрабатываемой системы выступает разработка методов ультразвукового неразрушающего контроля стальных отливок энергетического оборудования.

Таблица 6.1 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Разрабатываемый алгоритм	Сторонняя разработка	Разрабатываемый алгоритм	Сторонняя разработка
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0.2	5	4	1	0.8
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.05	4	4	0.2	0.2
3. Помехоустойчивость	0.05	4	4	0.2	0.2
4. Энергоэкономичность	0.04	4	5	0.16	0.2
5. Надежность	0.1	5	4	0.5	0.4
6. Уровень шума	0.05	4	3	0.2	0.15
7. Безопасность	0.04	5	4	0.2	0.16
8. Потребность в ресурсах памяти	0.08	3	3	0.24	0.24
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0	3	3	0	0
10. Простота эксплуатации	0.08	5	4	0.4	0.32
11. Качество интеллектуального интерфейса	0	3	4	0	0
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.01	4	3	0.04	0.03
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0.08	4	5	0.32	0.4
2. Уровень проникновения на рынок	0.06	4	4	0.24	0.24
3. Цена	0.03	5	3	0.15	0.09
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.05	5	4	0.25	0.2

5. Послепродажное обслуживание	0.02	4	4	0.08	0.08
6. Финансирование научной разработки	0.02	5	4	0.1	0.08
7. Срок выхода на рынок	0.01	3	4	0.03	0.04
8. Наличие сертификации разработки	0.03	3	4	0.09	0.12
Итого	1	82	77	4.4	3.95

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что разрабатываемый алгоритм является наиболее эффективным. Уязвимость конкурента объясняется наличием таких причин, как высокая стоимость, более низкая производительность и низкий срок эксплуатации.

6.1.3. SWOT-анализ

SWOT-анализ – это метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Матрица SWOT-анализа представлена в Таблице 6.2 [37].

Таблица 6.2 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Востребованность алгоритма в научных целях, как обработка данных, полученных методом ультразвукового контроля и расчет результатов измерений</p> <p>С2. Простота построенного алгоритма</p> <p>С3. При реализации проекта все осуществляется в среде MATLAB (исходные данные формируются в пакете MATLAB)</p> <p>С4. Гибкость построенного алгоритма, ее всегда можно модифицировать</p> <p>С5. Имеет малое количество аналогов в акустическом неразрушающем контроле</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Обработка данных в акустических методах требует метода проб и ошибок, так как между различными данными нет определенной статичности</p> <p>Сл2. Наличие случайной ошибки, которая характеризуется наличием большого шума при чтении входных данных, при измерении данных с помощью ультразвуковой установки.</p>
--	---	--

<p>Возможности: В1. Потребность в быстрой обработке данных, полученных ультразвуковым методом контроля В2. Гибкость разработанного алгоритма (его всегда можно модифицировать)</p>	<p>Разработанный алгоритм будет многократно использоваться и будет востребован не только в обработке данных, полученных методом ультразвукового контроля, но и в других областях для похожей обработки данных.</p>	<p>Создать автоматизированный алгоритм для обработки данных.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса в использовании разработанного алгоритма У2. Развитая конкуренция У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Существующие аналоги можно улучшить, модифицировать и использовать их.</p>	<p>Проводить качественную обработку данных, чтобы расчет результатов проводился с минимальной погрешностью и большей точностью.</p>

Таблица 6.3 – интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	0	+	0
	B2	+	+	-	+	0

Таким образом, сильные стороны проекта удовлетворяют его возможностям. Простота эксплуатации, сокращение затрачиваемого времени на обработку данных пользователя, а главное достоверность результатов позволяют использовать практически все возможности для развития исследований.

6.2. Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1. Определение трудоемкости выполнения работ

Для оценки трудоёмкости выполнения научного исследования выпускной квалификационной работы используют экспертный путь, определяемый человеко-днями. Для определения ожидаемого значения трудоемкости используют следующее соотношение:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-

дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Рассчитав ожидаемую трудоемкость работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующему соотношения:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.2.2. Разработка графика проведения научного исследования

При планировании проекта рекомендуется построить календарный график, в котором указываются виды работ, их исполнители и протяженность. Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ необходимо перевести из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. Количество календарных дней равно 365, выходных 52, а праздничных 14.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{299} = 1.22$$

В Таблице 6.4 приведены расчеты длительности отдельных видов работ.

Таблица 6.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{ожi}$, чел-дни			


Составление и утверждение технического задания	1	1	1	Р	1	2
Обзор теоретического материала	2	5	3.2	С	3.2	4
Анализ методов и способ обработки	5	10	7	С	7	9
Разработка алгоритма (составление макета)	5	6	5.4	Р, С	2.7	4
Реализация алгоритма 1 этап: создание маски (выделение границ материала, устранение шумов)	4	6	4.8	С	4.8	6
Реализация алгоритма 2 этап: сглаживание данных	6	10	7.6	С	7.6	10
Реализация алгоритма 3 этап: расчет среднего значения коэффициента затухания	2	2	2	С	2	3
Обработка данных (образцов)	7	10	8.2	С	8.2	10
Реализация алгоритма 4 этап: нахождение коэффициента корректировки	10	15	12	С	12	15
Обработка данных с учетом коэффициента корректировки	7	10	8.2	С	8.2	10
Сравнение обработанных данных после 3 этапа и после 4 этапа	3	5	3.8	Р, С	1.9	3
Расчет статистики	3	3	3	С	3	4
Итого:						80

На основе Таблицы 6.4 построена диаграмма Ганта, представляющая из себя горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 6.5 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} · кал. · дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.			март			апрель			май					
				2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2															
2	Обзор	С	4															

	теоретического материала														
3	Анализ методов и способ обработки	С	9												
4	Разработка алгоритма (составление макета)	Р	4												
		С	4												
5	Реализация алгоритма 1 этап: создание маски (выделение границ материала, устранение шумов)	С	6												
6	Реализация алгоритма 2 этап: сглаживание данных	С	10												
7	Реализация алгоритма 3 этап: расчет среднего значения коэффициента затухания	С	3												
8	Обработка данных (образцов)	С	10												
9	Реализация алгоритма 4 этап: нахождение коэффициента корректировки	С	15												
10	Обработка данных с учетом коэффициента корректировки	С	10												
11	Сравнение обработанных данных после 3 этапа и после 4 этапа	Р	3												
		С	3												
12	Расчет статистики	С	4												

 - руководитель

 - студент

6.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования, $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг и т.д.), C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.), k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принятым равным 20%.

Таблица 6.6. – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_M), руб.
Бумага	шт	100	3	300
Итого:				300

6.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данной статье расхода включаются затраты на приобретение специализированного спецоборудования для научных работ. В Таблице 6.7 приведен расчет бюджета затрат на приобретение на приобретение специализированного спецоборудования для научных работ:

Таблица 6.7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Ультрабук HONOR MagicBook 14	1	40000	40000
3.	Среда программирования MATLAB	1	3000	3000

Итого:	43000
--------	-------

Так как мы используем имеющееся у нас оборудование, то стоимость считаем в виде амортизационных отчислений. Амортизация рассчитывается по формуле $A = C/СПИ/12 = 40/5/12=0,67$, где A – амортизация за один месяц, C – первоначальная стоимость в тысячах рублей, $СПИ$ – срок полезного использования в годах. Работа длится три месяца, поэтому $0,67*3,5 = 2,35$ тыс. руб.

6.3.3. Основная заработная плата

Зарботная плата рассчитывается с учетом трудоемкости выполненных работ, окладов и тарифных ставок. В зарботную плату включается премия в размере 12–20% от тарифа или оклада.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная зарботная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная зарботная плата (12–20 % от $Z_{осн}$).

Основная зарботная плата руководителя и студента рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{осн}$ – основная зарботная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная зарботная плата, руб.

Средняя зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: $M=10,4$ месяца при 6-дневной рабочей неделе;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени работника, раб. дн.

Действительный годовой фонд рабочего времени работника представлен в Таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Баланс рабочего времени

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

Расчет значения Z_M проводится по формуле [4]:

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

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5.

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

Расчет основной заработной платы представлен в Таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	Z_{TC} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	0.3	0.2	1.3	73515	3046	6	18276
Студент	19200	0.3	0.2	1.3	37440	1551	61	94611
Итого:								112887

6.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат. Расчет дополнительной заработной платы проводится по формуле [38]:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, $k_{\text{доп}}=0,12$.

Результаты расчета дополнительной заработной платы представлены в Таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Дополнительная заработная плата

Исполнитель	$З_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	2193
Студент	11353
Итого:	13546

6.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов учитываются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работника.

Размер выплаты рассчитывается по формуле [38]:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, на 2022 год составляет 30 %.

Затраты на отчисления представлены в Таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Затраты на страховые отчисления

Исполнитель	$З_{\text{внеб}}$, руб.
Руководитель	6141
Студент	39736
Итого:	45877

6.3.6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

К данным расходам относится использование Internet. Оплата раз в месяц составляет 350 рублей. Работа длится 3,5 месяца, значит суммарно $3 \cdot 350 = 1225$ руб.

6.3.7. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т. д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, $k_{\text{нр}} = 16\%$.

$$Z_{\text{накл}} = (112887 + 13546 + 45877) \cdot 0,16 = 27570 \text{ руб.}$$

6.3.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [38].

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты. Для ТПУ стоимость 1 кВт электроэнергии составляет 5,8 руб. Один ноутбук потребляет 90 Вт/ч, коэффициент использования мощности – 0,8, суммарное количество часов работы ноутбука $(6+61) \cdot 8 = 536$. Итого будет потреблено $90 \cdot 0,8 \cdot 536 = 38592$ Вт, стоимость потреблённой электроэнергии составит $38,592 \cdot 5,8 = 224$ руб.

Бюджет затрат на НИР приведен в Таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Бюджет затрат на НИР

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	300
2	Затраты на специальное оборудование	3002
3	Затраты по основной заработной плате работников	112887
4	Затраты по дополнительной заработной плате работников	13546
5	Отчисления во внебюджетные фонды	45877
6	Накладные расходы	27570
7	Контрагентские расходы	1225
8	Прочие прямые затраты	224
Итого:		204631

6.4. Оценка эффективности проекта

Определение эффективности НИР производится посредством расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности НИР получают в ходе оценки бюджета затрат трех или более вариантов исполнения научного исследования. В качестве аналога разрабатываемой системы выступает разработка методов ультразвукового неразрушающего контроля стальных отливок энергетического оборудования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле [38]:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\text{max}}},$$

где Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

Результаты расчета интегрального финансового показателя приведен в Таблице 6.13.

Таблица 6.13 – Расчет интегрального показателя финансовой эффективности

Вариант исполнения	Φ_{max}	Φ_{ri}	$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i}$
--------------------	---------------------	-------------	--------------------------------

Разработанный алгоритм	250000	204631	0.81
Аналог		250000	1

Таким образом, для данной НИР показатель финансовой эффективности составляет 0.78.

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального показателя ресурсоэффективности, вычисляемого по формуле [38]:

$$I_p^{\text{исп}} = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot b_i),$$

где $I_p^{\text{исп}}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

В таблице 6.14 приведен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 6.14 – Сравнительная характеристика вариантов исполнения НИР

Критерии	Весовой коэффициент	Разработанный алгоритм	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4
3. Энергосбережение	0,20	4	4
4. Надежность	0,25	5	4
5. Помехоустойчивость	0,10	4	3
I_{pi}	1	4,55	3,9

Из таблицы следует, что вариант исполнения НИР, применяемый в данной работе, является более ресурсоэффективным. Интегральный показатель эффективности определяется по следующей формуле [38]:

$$I_{\text{исп}} = \frac{I_p^{\text{исп}}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп}}}$$

Данный показатель будет равен:

– для исполнения 1: $I_{исп1} = 4,55/0,81 = 5,62$;

– для исполнения 2: $I_{исп2} = 3,9/1 = 3,9$.

Таким образом, исполнение 1 является наиболее эффективным.

6.5. Заключение по разделу

Для оценки эффективности стратегии проведения НИР проведён SWOT-анализ. По результатам анализа рекомендуется проводить качественную обработку данных, чтобы расчет результата контроля проводился с минимальной погрешностью и большей точностью.

Составлен план проведения НИР. Весь исследовательский процесс может быть разделён на 12 этапов. На выполнение поставленных задач заданным коллективом требуется порядка 3,5–4 месяцев. Для иллюстрации календарного плана составлена диаграмма Ганта.

Расчитаны затраты на проведение НИР. Основными расходами являются затраты на оборудование (амортизационные расходы) и расходы на заработную плату исполнителей.

Произведен расчёт финансовой эффективности и ресурсоэффективности разработанного алгоритма. Установлено, что разработанный алгоритм является более эффективным по сравнению с аналогом.

Заклучение

В работе представлена разработка алгоритмов и реализация их в виде функций в пакете программ MATLAB, которые осуществляет следующие операции обработки данных ультразвуковых измерений:

- Создание, наложение маски на массив данных коэффициента затухания DECAУ и скорости продольной волны TOF, и их сглаживание;
- Расчет коэффициента корректировки, который характеризует угловое отклонение акустической волны;
- Расчет среднего значения коэффициента затухания без учета и с учетом углового отклонения.

В рамках апробации разработанных функций были обработаны ранее полученные данные ультразвуковых измерений для нескольких образцов.

Разработанные алгоритмы дают следующие результаты:

- Распределение данных становится более сглаженным, устраняются физически необъяснимые вариации определяемых параметров;
- Среднее значение коэффициента затухания с учетом коэффициента корректировки относительно среднего значения до корректировки по проведенной статистике уменьшается на 42–54 %

Можно сделать вывод, что систематическая ошибка, которая характеризует угол отклонения волны от поверхностей образца, с помощью коэффициента корректировки была минимизирована.

Список Литературы

1. Сунь Х. Исследование влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110. – 2018.
2. Мороз, Л.С. Титан и его сплавы. Т.1: технически чистый титан / Л.С. Мороз [и др.]; под ред. Л. С. Мороз. – Л.: Судпромгиз, 1960. - 516 С.
3. Исакович, М. А. Общая акустика. – М.: Наука, 1973. – 502 С.
4. Гельд, П.В. Водород и физические свойства металлов и сплавов: Гидриды переходных металлов / П.В. Гельд, Р.А. Рябов, Л.П. Мохрачева. – М.: Наука, 1985. - 232 С.
5. Колачев, Б.А. Водородная хрупкость цветных металлов. – М.: Metallurgia, 1966. - 239 С.
6. Ливанов, В.А. Водород в титане. / В.А. Ливанов, А.А. Буханова, Б.А. Колачев – М.: Metallurgia, 1962. - 245 С. 74
7. Шоршоров, М.Х. Сварка титана и его сплавов. / М.Х.Шоршоров, Г.В.Назаров. – М.: Машгиз, 1959. - 136 С.
8. Молчанова, Е.К. Атлас диаграмм состояния титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1964. - 392 С.
9. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB: пособие / Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. – Москва: Техносфера, 2006.-616с. 376-380 с.
10. fspecial. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/images/ref/fspecial.html> (дата обращения 28.08.2021)
11. chi2gof. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/stats/chi2gof.html> (дата обращения 02.02.2022)
12. chi2test. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/16177-chi2test> (дата обращения 02.02.2022)
13. interp2. [Электронный доступ]: - Режим доступа: -

- <https://docs.exponenta.ru/matlab/ref/interp2.html> (дата обращения 03.02.2022)
14. Линейная интерполяция. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://www.matematicus.ru/vyshshaya-matematika/issledovanie-funktsii/linejnaya-interpolyatsiya> (дата обращения 03.02.2022)
15. Аппроксимация и интерполяция данных. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2873728/page:2> (дата обращения 03.02.2022)
16. Функции Static Toolbox. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://hub.exponenta.ru/post/funktsii-statistics-toolbox392> (дата обращения 16.02.2022)
17. mean. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/matlab/ref/mean.html> (дата обращения 15.03.2022)
18. std. [Электронный доступ]: - Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/matlab/ref/std.html> (дата обращения 15.03.2022)
19. surfnorm. [Электронный доступ]: Режим доступа <https://docs.exponenta.ru/matlab/ref/surfnorm.html> (дата обращения 30.03.22).
20. MATLAB. [Электронный доступ]: Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (дата обращения 30.10.21).
21. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)
22. ГОСТ 12.2.032–78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
23. Панин В. Ф., Сечин А.И., Федосова В. Д. Экология для инженера // под ред. проф. В. Ф. Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера». – 2000. – 284 с.
24. ГОСТ 12.0.003–2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

25. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
26. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
27. ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
28. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
29. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности.
30. СанПиН 2.2.4.3359–16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
31. ГОСТ Р 53734.1–2014 «Электростатические явления»
32. ГОСТ 12.4.011–89 Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
33. ГОСТ 12.1.019–2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
34. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.
35. Скворцов Ю. В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
36. Кузьмина Е. А., Кузьмин А. М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г
37. Кузьмина Е. А., Кузьмин А. М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурсы в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
38. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

Приложение 1

Таблица 1 – Среднее значение и квадратичное отклонение коэффициента затухания циркониевого сплава без учета и с учетом коэффициента корректировки

Образец Zr сплав	Среднее значение без учета корректировки, Нп/мм	Квадратичное отклонение без учета корректировки, Нп/мм	Среднее значение с учетом корректировки, Нп/мм	Квадратичное отклонение с учетом корректировки, Нп/мм
2017 07 10 Zr S test 01	0.0106	0.0033	0.0076	0.0021
2017 07 10 Zr S test 02	0.0123	0.0030	0.0097	0.0017
2017 07 10 Zr S test 03	0.0131	0.00023	0.0091	0.00086
2017 07 10 Zr S test 04	0.0140	0.00017	0.0110	0.00057
2017 07 10 Zr S test 05	0.0129	0.0011	0.0100	0.0011
2017 07 10 Zr S test 06	0.0148	0.0004	0.0107	0.0004
2017 07 10 Zr S test 07	0.0133	0.00014	0.0116	0.00055
2017 07 10 Zr S test 08	0.0134	0.00023	0.0105	0.00020
2017 07 10 Zr R test 01	0.0135	0.0010	0.0118	0.0015
2017 07 10 Zr R test 02	0.0127	0.00018	0.0108	0.00014
2017 07 10 Zr R test 03	0.0136	0.00013	0.0095	0.00016
2017 07 10 Zr R test 04	0.0124	0.0006	0.0092	0.0003
2017 07 10 Zr R test 05	0.0128	0.0003	0.0115	0.00012
2017 07 10 Zr R test 06	0.0110	0.0005	0.0112	0.0013
2017 07 10 Zr R test 07	0.0128	0.0008	0.0124	0.00009
2017 07 10 Zr R test 08	0.0131	0.0003	0.0066	0
2017 07 11 Zr S test 01	0.0173	0.0001	0.0036	0.0016
2017 07 11 Zr S test 02	0.0175	0.00011	0.0070	0.0003
2017 07 11 Zr S test 03	0.0175	0.0001	-0.0016	0.0023
2017 07 11 Zr S test 04	0.0158	0.0008	-	-
2017 07 11 Zr S test 05	0.0175	0.00016	0.0041	0.00036

2017 07 11 Zr S test 06	0.0177	0.00011	-0.0098	0.0019
2017 07 11 Zr S test 07	0.0175	0.0001	-	-
2017 07 11 Zr S test 08	0.0172	0.0001	0.0042	0.0015
2017 07 11 Zr R test 01	0.0181	0.0007	0.0115	0.0027
2017 07 11 Zr R test 02	0.0162	0.0010	0.0105	0.0012
2017 07 11 Zr R test 03	0.0184	0.00013	-0.0055	0.0019
2017 07 11 Zr R test 04	0.0163	0.0018	0.0155	0.0017
2017 07 11 Zr R test 05	0.0177	0.00017	0.0047	0.00034
2017 07 11 Zr R test 06	0.0176	0.00012	0.0036	0.00064
2017 07 11 Zr R test 07	0.0178	0.00011	-0.0017	0.0016
2017 07 11 Zr R test 08	0.0183	0	NaN	NaN
2017 11 11 Zr S test 02	0.0196	0.0009	0.0156	0.0006
2017 11 11 zrs test 04	0.0205	0.00011	0.0183	0.00053
2017 11 11 ZrS test 04	0.0189	0.00008	0.0118	0.00019
2018 02 03 Zr R1 test 1	0.0199	0.0006	0.0074	0.00047
2018 02 03 Zr R2 test 2	0.0190	0.00012	0.0081	0.00026
2018 02 03 Zr R3 test 3	0.0202	0.0001	0.0104	0.00055
2018 02 03 Zr R4 test 4	0.0188	0.00013	0.0080	0.0014
2018 02 03 Zr R5 test 5	0.0197	0.00018	0.0130	0.0011
2018 02 03 Zr R6 test 6	0.0192	0.00013	0.00048	0.00022
2018 02 03 Zr R7 test 7	0.0195	0.00011	0.0161	0.0013
2018 02 03 Zr R8 test 8	0.0203	0.0002	0.0116	0.0012
2018 02 03 Zr S1 test 1	0.0188	0.00017	0.0054	0.00054
2018 02 03 Zr S2 test 2	0.0194	0.00014	0.0090	0.00054
2018 02 03 Zr S3 test 3	0.0191	0.00018	0.0081	0.0006
2018 02 03 Zr S4	0.0194	0.00018	0.0091	0.0010

test 4				
2018 02 03 Zr S5 test 5	0.0188	0.00017	0.0139	0.0005
2018 02 03 Zr S6 test 6	0.0210	0.00015	0.0145	0.00092
2018 02 03 Zr S8 test 8	0.0201	0.00011	0.0137	0.00043

Таблица 2 – Среднее значение и квадратичное отклонение коэффициента затухания титанового сплава без учета и с учетом коэффициента корректировки

Образец Ti сплав	Среднее значение без учета корректировки, Нп/мм	Квадратичное отклонение без учета корректировки, Нп/мм	Среднее значение с учетом корректировки, Нп/мм	Квадратичное отклонение с учетом корректировки, Нп/мм
2018 02 08 Ti R1 test 1	0.0214	0.0018	0.0205	0.0022
2018 02 08 Ti R2 test 1	0.0503	0.0008	0.0121	0.0047
2018 02 08 Ti R3 test 1	0.0276	0.0009	0.0120	0.0029
2018 02 08 Ti R4 test 1	0.0211	0.0035	0.0210	0.0029
2018 02 08 Ti R6 test 1	0.0239	0.0037	0.0131	0.0029
2018 02 08 Ti R8 test 1	0.0252	0.0022	0.0131	0.0027
2018 02 08 Ti S1 test 1	0.0192	0.0007	0.0180	0.00087
2018 02 08 Ti S2 test 1	0.0202	0.0010	0.0110	0.0046
2018 02 08 Ti S4 test 1	0.0223	0.0011	0.0073	0.0042
2018 02 08 Ti S6 test 1	0.0224	0.0004	0.00014	0.0034
2018 02 08 Ti S8 test 1	Файл не открывается			
2018 02 17 Ti R1 test 2	0.0231	0	0.0025	0.00029
2018 02 17 Ti R2 test 4	0.0214	0.0004	0.0086	0.00057
2018 02 17 Ti R4 test 8	0.0234	0.00012	0.0076	0.0017
2018 02 17 Ti S1 test 1	NaN	NaN	NaN	NaN
2018 02 17 Ti S2 test 3	0.0220	0.0014	0.0164	0.0026
2018 02 17 Ti S4 test 7	0.0184	0.0007	0.0141	0.0011
2018 02 24 Ti R1	0.0315	0.0002	0.0153	0.0033

test 2				
2018 02 24 Ti R2 test 4	0.0359	0.0003	0.0081	0.0047
2018 02 24 Ti S1 test 1	0.0328	0.00024	0.0195	0.00083
2018 02 24 Ti S2 test 3	0.0306	0.0023	0.0149	0.0046
2018 03 09 Ti S1-D test 1	0.0221	0.0002	0.0166	0.0011
2018 03 10 Ti S1 test 2	0.0223	0.0001	0.0098	0.00057
2018 03 10 Ti S11 test 1	NaN	NaN	NaN	NaN
2018 03 10 Ti S11-B test 2	NaN	NaN	NaN	NaN
2018 03 10 Ti S12 test 1	0.0126	0.0013	0.0104	0.0010
2018 03 10 Ti S12-B test 2	0.0197	0.0028	0.0189	0.0025
2018 03 12 Ti R11 test 1	0.0233	0.0008	0.0176	0.0021
2018 03 12 Ti R11-B test 2	0.0205	0.0026	0.0132	0.0018
2018 03 30 R6 test 12	0.0221	0.00013	0.0119	0.0010
2018 03 30 R8 test 13	0.0215	0.0008	0.0117	0.00055
2018 03 30 S6 test 11	0.0217	0.0006	0.0108	0.00065
2018 03 30 S8 test 14	0.0225	0.0008	0.0024	0.00033
2018 04 14 Ti R4 test 12	0.0227	0.00018	0.0135	0.0018
2018 04 14 Ti R4 test 13	NaN	NaN	NaN	NaN
2018 04 14 Ti S4 test 11	0.0227	0.0019	0.0107	0.0036
2018 04 14 Ti S4 test 14	NaN	NaN	NaN	NaN
2018 05 23 Ti R2 test 3	0.0253	0.00027	Файл не открывается	
2018 05 23 Ti R2 test 13	0.0243	0.00026	0.0051	0.00059
2018 05 23 Ti R2 test 24	Файл не открывается			
2018 05 23 Ti R3 test 5	0.0292	0.0005	0.00093	0.0011
2018 05 23 Ti R3 test 15	0.0183	0.0026	0.0070	0.0033
2018 05 23 Ti R3 test 22	0.0291	0.0009	0.0199	0.0029

2018 05 23 Ti R7 test 1	0.0234	0.0005	0.0099	0.0024
2018 05 23 Ti R7 test 11	0.0221	0.0008	0.0143	0.00051
2018 05 23 Ti R7 test 26	0.0331	0.0006	0.0137	0.0040
2018 05 23 Ti S2 test 4	0.0229	0.00015	0.0068	0.0026
2018 05 23 Ti S2 test 14	0.0223	0.00024	0.0046	0.0024
2018 05 23 Ti S2 test 23	0.0317	0.0032	0.0109	0.0029
2018 05 23 Ti S3 test 6	0.0234	0.00012	0.0083	0.0020
2018 05 23 Ti S3 test 16	0.0234	0.00023	0.0116	0.00078
2018 05 23 Ti S3 test 21	0.0299	0.0032	0.0120	0.0033
2018 05 23 Ti S7 test 2	0.0260	0.0003	0.0076	0.00064
2018 05 23 Ti S7 test 12	0.0234	0.0010	0.0117	0.00067
2018 05 23 Ti S7 test 25	0.0257	0.00029	Не открывается файл	

Таблица 3 – Среднее значение и квадратичное отклонение коэффициента затухания титанового сплава (Ti vt6) без учета и с учетом коэффициента корректировки

Образец Ti vt6 сплав	Среднее значение без учета корректировки , Нп/мм	Квадратичное отклонение без учета корректировки , Нп/мм	Среднее значение с учетом корректировки , Нп/мм	Квадратичное отклонение с учетом корректировки , Нп/мм
2017 07 11 vt6 S test 01	NaN	NaN	NaN	NaN
2017 07 11 vt6 R test 01	0.0269	0.00029	0.0048	0.0033
2017 07 11 vt6 R test 02	0.0262	0.00026	0.0163	0.0030
2017 07 11 vt6 R test 03	0.0248	0.0009	0.0108	0.0035
2017 07 11 vt6 R test 04	0.0291	0.0004	0.0021	0.0045
2017 07 11 vt6 R test 05	0.0259	0.0008	0.0128	0.0047
2017 07 11 vt6 R test 06	Файл не открывается			
2017 07 11 vt6 R test 07	NaN	NaN	NaN	NaN
2017 07 11 vt6 R test 08	NaN	NaN	NaN	NaN

2017 07 12 vt6 S test 02	0.0307	0.0006	0.0056	0.0029
2017 07 12 vt6 S test 03	0.0276	0.0005	0.0067	0.00064
2017 07 12 vt6 S test 04	0.0274	0.0013	0.0216	0.0029
2017 07 12 vt6 S test 05	0.0281	0.0005	0.0161	0.0024
2017 07 12 vt6 S test 06	0.0280	0.00029	0.0135	0.00078
2017 07 12 vt6 S test 07	0.0274	0.0003	0.0149	0.0018
2017 07 12 vt6 S test 08	0.0282	0.0002	0.0223	0.0014
2017 07 12 vt6 S test 09	0.0273	0.00019	0.0196	0.0014
2017 11 09 vt6 R test 05	0.0164	0.0011	0.0055	0.0041
2017 11 09 VT6 S test 02	0.0271	0.0025	0.0220	0.0044
2017 11 11 vt6 S test 01	0.0284	0.0005	0.0050	0.0010

Красное выделение – образцы с наибольшими дефектами;

Желтое выделение – образцы с небольшими дефектами;

Приложение 2

Код программы для массива данных функции DECAУ:

```
\\ чтение данных из файла данных функции DECAУ
parse_bin_data
full=load_vol_file('SCI_HIFREQ_n0');
max=get_spt_max(full);
mesh(max)
decay=get_spt_decay_point(double(full),300,0.01,0,1,41,41)
full_decay=get_spt_decay(double(full),300,0.01,0,1);
mesh(full_decay(:, :, 1))
new_full_decay=full_decay;
\\ Устранение одиночных занчений:
for i=1:4
    layer=full_decay(:, :, i);
    for j=1:81
        column=layer(:, j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if noise(k, j, layer)==1
                full_decay(k, j, i)=0;
            end
        end
    end
end

function is_alone = noise(x,y,matrix)
    is_alone=1;
    for i=-1:1
        for j=-1:1
            if (x+i>=1) && (x+i<=81) && (y+j>=1) && (y+j<=81)
                if (i ~= 0) && (j~=0) && (matrix(x+i,y+j)>0)
                    is_alone=0;
                end
            end
        end
    end

end

\\ создание маски:
x=new_full_decay(:, :, 1);
figure; mesh(x)
d1=edge(x, 'canny');
f1=imfill(d1, 'holes');
se=strel('square', 20);
f10=imclose(f1, se);
f100=imopen(f10, se);
n=bwmorph(x, 'close');
f2=imfill(n, 'holes');
g1=imopen(f2, se);
```

```

h1=f100.*g1;

full_decay_clean=zeros(81,81,4);
full_decay_clean(:,:,1)=h1;
full_decay_clean(:,:,2)=h1;
full_decay_clean(:,:,3)=h1;
full_decay_clean(:,:,4)=h1;
full_decay_clean_end=new_full_decay.*full_decay_clean;
figure; mesh(full_decay_clean_end(:,:,1))
\\ сглаживание:
xx=full_decay_clean_end
S3=fspecial('gaussian',3,1);
S3xx_f=imfilter(xx,S3);
h11=full_decay_clean;
IS3xx_f=h11.*S3xx_f;
figure; mesh(IS3xx_f(:,:,1))
\\ выделение центра данных
gran1=edge(full_decay_clean(:,:,1),'canny');
se=strel('square',14);
I1=imdilate(gran1,se);
h2=zeros(81,81,4);
h2(:,:,1)=I1;
h2(:,:,2)=I1;
h2(:,:,3)=I1;
h2(:,:,4)=I1;
Itog=h2.*S3xx_f;
Itog1=h11.*Itog;
Itog_end=IS3xx_f-Itog1;
figure; mesh(Itog_end(:,:,1))
Nach=h2.*xx;
Nach1=h11.*Nach;
Nach_end=xx-Nach1;
figure; mesh(Nach_end(:,:,1))
RAZN=Itog_end-Nach_end;
figure; mesh(RAZN(:,:,1))
new_Itog_end=Itog_end;
\\ расчет среднего значения и квадратичного отклонения для массива
данных функции DECAУ
for i=1:4
    lay=Itog_end(:,:,i);
    for j=1:81
        column=lay(:,j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if Itog_end(k, j, i)==0
                new_Itog_end(k, j, i)=NaN;
            end
        end
    end
end
end
end

```

```

M = mean( new_Itog_end(:,:,1), 'omitnan' );
MM = mean(M, 'omitnan' );
S = std(new_Itog_end(:,:,1),'omitnan');
SS = std(S,'omitnan')

```

Код программы для массива данных функции TOF:

```

\\ чтение данных из файла функции TOF
parse_bin_data
full=load_vol_file('SCI_HIFREQ_n0');
max=get_spt_max(full);
mesh(max);
figure;
tof=get_spt_tof_point(double(full),300,0.01,0,1,41,41)
figure;
full_tof=get_spt_tof2(double(full),300,0.01,0,1);
mesh(full_tof(:,:,1))
\\ наложение маски и сглаживание:
h3=zeros(81,81,5);
h3(:,:,1)=h1;
h3(:,:,2)=h1;
h3(:,:,3)=h1;
h3(:,:,4)=h1;
h3(:,:,5)=h1;
maska_tof=h3.*full_tof;
figure; mesh(maska_tof(:,:,1))
S3B=fspecial('gaussian',10,2);
mS3xx_f=imfilter(maska_tof,S3B);
\\ выделение центра образца:
MS3xx_f=mS3xx_f.*h3;
figure; mesh(MS3xx_f(:,:,1))
mgran1=edge(h3(:,:,1),'canny');
se=strel('square',14);
mI1=imdilate(mgran1,se);
h4=zeros(81,81,5);
h4(:,:,1)=mI1;
h4(:,:,2)=mI1;
h4(:,:,3)=mI1;
h4(:,:,4)=mI1;
h4(:,:,5)=mI1;
mItog=h4.*MS3xx_f;
mItog1=h3.*mItog;
mItog_end=MS3xx_f-mItog1;

\\ нахождение координаты центра образца:
chb=bwmorph(mItog_end(:,:,1),'close');
[L, num]=bwlabel(chb);
[R,C]=find(L==1);
rbar=mean(R);

```

```

cbar=mean(C);
XXX=ceil(cbar)
YYY=ceil(rbar)
center=mItog_end(YYY,XXX,1)

```

```

figure; mesh(mItog_end(:,:,1))
figure; mesh(mItog_end(:,:,4))
figure; mesh(mItog_end(:,:,5))

```

\\ расчет для верхней поверхности:

[N4x,N4y,N4z] = surfnorm(mItog_end(:,:,4)); \\функция находит координаты нормалей и записывает их в виде матрицы

```
%figure; quiver3(mItog_end(:,:,4),N4x,N4y,N4z)
```

new_N4z=N4z; \\где были изначально z=0 в координатах нормалей они равны 1, для дальнейшего расчета будет удобней единицы приравнять к нулю

```

for j=1:81
    column=N4z(:,j);
    for k=1:81
        value=column(k);
        if N4z(k, j)==1
            new_N4z(k, j)=0;
        end
    end
end
end

```

Normal4=zeros(81,81,3); \\создаем массив для координат нормалей
Normal4(:,:,1)=N4x; \\значения координаты по x
Normal4(:,:,2)=N4y; \\значения координаты по y
Normal4(:,:,3)=N4z; \\значения координаты по z

```
new_Normal4=Normal4;
```

```

for i=1:3
    lay=Normal4(:,:,i);
    for j=1:81
        column=lay(:,j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if Normal4(k, j, i)~=0
                koren4=sqrt(1.*sqrt(Normal4(k, j, 1).^2+Normal4(k, j,
2).^2+Normal4(k, j, 3).^2); \\расчет знаменателя
                ko4=(0.*Normal4(k, j, 1)+ 0.*Normal4(k, j, 2)+1.*Normal4(k, j,
3))/koren4; \\расчет косинуса
                f4=acosd(ko4); \\ расчет угла
                new_Normal4(k,j,i)=f4; \\ в новую матрицу записываем
значения углов

```

```

        end
    end
end

figure; mesh(new_Normal4(:, :, 1))
\\ аналогично расчет для нижней поверхности:
[N5x, N5y, N5z] = surfnorm(mItog_end(:, :, 5));
%figure; quiver3(mItog_end(:, :, 5), N5x, N5y, N5z)

new_N5z=N5z;

for j=1:81
    column=N5z(:, j);
    for k=1:81
        value=column(k);
        if N5z(k, j)==1
            new_N5z(k, j)=0;
        end
    end
end

Normal5=zeros(81,81,3);
Normal5(:, :, 1)=N5x;
Normal5(:, :, 2)=N5y;
Normal5(:, :, 3)=N5z;

new_Normal5=Normal5;

for i=1:3
    lay=Normal5(:, :, i);
    for j=1:81
        column=lay(:, j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if Normal5(k, j, i)~=0
                koren5=sqrt(1).*sqrt(Normal5(k, j, 1).^2+Normal5(k, j,
2).^2+Normal5(k, j, 3).^2);
                ko5=(0.*Normal5(k, j, 1)+ 0.*Normal5(k, j, 2)+1.*Normal5(k, j,
3))/koren5;
                f5=acosd(ko5);
                new_Normal5(k, j, i)=f5;
            end
        end
    end
end

Itog_normal4=new_Normal4; \\ создаем массив для значений коэффициента кор-
ректировки
for i=1:3

```



```

lay=new_Normal4(:, :, i);
for j=1:81
    column=lay(:, j);
    for k=1:81
        value=column(k);
        if new_Normal4(k, j, i)~=0
            grad4=2.*(90-new_Normal4(k, j, i));\\вычисление аргумента (угла)
            P4=cosd(grad4);\\ вычисление косинуса (коэффициента корректи-
ровки)
            Itog_normal4(k, j, i)=P4;\\ записываем данные в новый массив
        end
    end
end
end
end
%figure; mesh(Itog_normal4(:, :, 1))

Itog_end4=zeros(81,81,3);
Itog_end4(:, :, 1)=Itog_end(:, :, 1);
Itog_end4(:, :, 2)=Itog_end(:, :, 2);
Itog_end4(:, :, 3)=Itog_end(:, :, 3);

\\ создание маски для коэффициента корректировки для рассмотрения более
центральной области
gran14=edge(full_decay_clean(:, :, 1), 'canny');
se=strel('square', 20);
I14=imdilate(gran14, se);

h24=zeros(81,81,4);
h24(:, :, 1)=I14;
h24(:, :, 2)=I14;
h24(:, :, 3)=I14;
h24(:, :, 4)=I14;
Itog4=h24.*S3xx_f;
Itog14=h11.*Itog4;
Itog_end44=IS3xx_f-Itog14;
n4=bwmorph(Itog_end44(:, :, 1), 'close');

Itog_normalm4=Itog_normal4(:, :, 1).*n4;
%figure; mesh(Itog_normalm4(:, :, 1))
idecay=Itog_end4.*n4;
TTT4=idecay.*Itog_normalm4;\\умножение массива данных функции DECAy на
коэффициент корректировки для 4 слоя
%figure; mesh(TTT4(:, :, 1))

\\ Проверка на случайные значения, которые могут выбиваться и их уstra-
нение для массива данных функции DECAy с учетом коэффициента корректи-
ровки 4 слоя

new_TTT4=TTT4;
for i=1:81

```

```

    lay=new_TTT4(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if TTT4( j, i)>1
            sum=TTT4(j-1,i+1)+TTT4(j-1,i)+TTT4(j-1,i-
1)+TTT4(j,i+1)+TTT4(j,i-1)+TTT4(j+1,i+1)+TTT4(j+1,i)+TTT4(j+1,i-1);
            sred=sum./8;
            new_TTT4(j,i)=sred;

        end
    end
end
%figure; mesh(new_TTT4(:,:,1))
\\ вычисление коэффициента корректировки для 5 слоя аналогично:
Itog_normal5=new_Normal5;
for i=1:3
    lay=new_Normal5(:,:,i);
    for j=1:81
        column=lay(:,j);
        for k=1:81
            value=column(k);
            if new_Normal5(k, j, i)~=0
                grad5=2.*(90-new_Normal5(k,j,i));
                P5=cosd(grad5);
                Itog_normal5(k,j,i)=P5;

            end
        end
    end
end
%figure; mesh(Itog_normal5(:,:,1))

Itog_normalm5=Itog_normal5(:,:,1).*n4;\\ умножаем на маску как и для 4
слоя

TTT5=new_TTT4.*Itog_normalm5;\\ умножение массива данных функции DECAY с
учетом коэффициента корректировки 4 слоя на коэффициент корректировки 5
слоя
%figure; mesh(TTT5(:,:,1))
\\ Проверка на случайные значения, которые могут выбиваться и их устра-
нение для массива данных функции DECAY с учетом коэффициента корректи-
ровки 4 и 5 слоя:
new_TTT5=TTT5;
for i=1:81
    lay=new_TTT5(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if TTT5( j, i)>0.1 || TTT5( j, i)<(-0.1)

            new_TTT5(j,i)=0;

```

```

        end
    end
end
%figure; mesh(new_TTT5(:,:,1))

Itog_TTT5=new_TTT5;
for i=2:80
    lay=Itog_TTT5(:,i);
    for j=2:80
        column=lay(j);
        if new_TTT5( j, i)==0
            sum5=new_TTT5(j-1,i+1)+new_TTT5(j-1,i)+new_TTT5(j-1,i-
1)+new_TTT5(j,i+1)+new_TTT5(j,i-
1)+new_TTT5(j+1,i+1)+new_TTT5(j+1,i)+new_TTT5(j+1,i-1);
            sred5=sum5./8;
            Itog_TTT5(j,i)=sred5;
        end
    end
end
end
%figure; mesh(Itog_TTT5(:,:,1))

```

\\ умножаем еще раз на маску с меньшим размером, чтобы рассмотреть более детально как меняется поверхность массива данных функции DECAY:

```

gran14=edge(full_decay_clean(:,:,1), 'canny');
se=strel('square',28);
I14=imdilate(gran14,se);

h24=zeros(81,81,4);
h24(:,:,1)=I14;
h24(:,:,2)=I14;
h24(:,:,3)=I14;
h24(:,:,4)=I14;
Itog4=h24.*S3xx_f;
Itog14=h11.*Itog4;
Itog_end44=IS3xx_f-Itog14;
n5=bwmorph(Itog_end44(:,:,1), 'close');
Itog_TTT5=Itog_TTT5(:,:,1).*n5;
\\ чтобы рассчитать среднее значение коэффициента затухания переведем ну-
левые значения в NaN, также для удобства можно будет рассмотреть хорошо
поверхность
new_Itog_TTT5=Itog_TTT5(:,:,1);

for i=1:81
    lay=new_Itog_TTT5(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if Itog_TTT5( j, i)==0
            new_Itog_TTT5( j, i)=NaN;
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
figure; mesh(new_Itog_TTT5(:,:,1))
    \\ расчет среднего значения и квадратичного отклонения:
M5 = mean( new_Itog_TTT5(:,:,1), 'omitnan' );
MM5 = mean(M5, 'omitnan' )
S5 = std(new_Itog_TTT5(:,:,1), 'omitnan');
SS5 = std(S5, 'omitnan')
    \\ массив данных функции DECAУ до учета коэффициента корректировки; также
переведем нулевые значения в NaN для удобства сравнения изображений
idm=new_Itog_end(:,:,1).*n5;

new_idm=idm;

for i=1:81
    lay=new_idm(:,i);
    for j=1:81
        column=lay(j);
        if idm( j, i)==0
            new_idm( j, i)=NaN;
        end
    end
end
end
figure; mesh(new_idm(:,:,1))

```