

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Диагностика дефектов в металлах на основе скин-эффекта

УДК 620.179.1:537.856:669

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM71	У Шэньван		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сорокин П.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И. В	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю. М.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	д.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Код	Результат обучения
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи;
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение.
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров, разрабатывать учебно-методические материалы для студентов по отдельным видам учебных занятий
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. использовать иностранный язык в профессиональной сфере, владеть способностью

	адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности.
P8	Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Способность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности
P12	знать современные системы автоматизированного проектирования электронных схем
P13	Анализировать возможные схемные, конструктивные решения, работать с современными системами автоматизированного проектирования и системами электронного документооборота, использовать нормативные правовые акты, справочные материалы
P14	Анализировать эффективность функционирования электронного оборудования, проводить испытания и аттестацию РЭА

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

Школа
 Направление подготовки
 Отделение

неразрушающего контроля и безопасности
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.И. Солдатов
 (Подпись) _____ (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM71	У Шэньван

Тема работы:

Диагностика дефектов в металлах на основе скин-эффекта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является скин-эффект, и исследование его возможности для определения изменения свойств наводороженных слоев поверхности конструкционных материалов. Стоит задача в создании аппаратуры на основе скин-эффекта для контроля толщины слоя наводороживания в ответственных конструкциях.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- обзор методов неразрушающего контроля; - расчет изменения активного сопротивления за счет скин-эффекта, для нормальных материалов и материала с наводороженным слоем; - разработка экспериментальной установки;; - экспериментальные исследования; - социальная ответственность; - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема структурная, принципиальная, результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И.В., к.э.н., доцент.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М., д.т.н., профессор
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Разделы: 1.1 Определение дефектоскопа; 1.2 Применение дефектоскопа; 1.3 Принцип обнаружения; 1.4 Способ пользования; 1.5 Скин-эффект	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокин П. В.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM71	У Шэньван		

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
 Уровень образования **магистратура**
 Отделение **электронной инженерии**
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.12.2017	Научно-исследовательская работа в семестре	73
07.06.2018	Научно-исследовательская работа в семестре	66
22.12.2018	Научно-исследовательская работа в семестре	75

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сорокин П.В.	к.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 107с., 25 рисунков, 27 таблицы, 31 источников, 1 прил.

Ключевые слова: дефектоскоп, неразрушающий контроль, скин эффект.

Объектом исследования является: скин-эффект, и исследование его возможности для определения изменения свойств наводороженных слоев поверхности конструкционных материалов.

Цель работы является: исследование возможности скин-эффекта для определения изменения свойств наводороженных слоев поверхности конструкционных материалов.

В процесс исследования проводились аналитический обзор литературных источников, исследование методов дефектоскопии, расчет изменения активного сопротивления за счет скин-эффекта, для нормальных материалов и материала с наводороженным слоем, разработка структурной и принципиальной схемы, разработка макета дефектоскопа, тестирование и отладка изготовленного макета устройства, анализ полученных данных, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения и социальной ответственности.

В результате исследования был разработан дефектоскоп на основе скинэффекта, соответствующий техническому заданию.

Область применения: научно исследовательские организации и предприятия, области интересов которых, затрагивают скин-эффект, композитных материалов при производстве и эксплуатации. Экономическая эффективность значимость работы: работа является экономически эффективной из-за низкой стоимости прибора относительно аналогов на рынке.

В будущем планируется: улучшать уравнения расчет и получить более точный результат.

Оглавление	
Введение	10
1 Дефектоскоп и скин-эффект	12
1.1 Определение дефектоскопа	12
1.2 Применение дефектоскопа	12
1.3 Принцип обнаружения	13
1.4 Способ пользования	13
1.4.1 Метод ультразвуковой дефектоскопии	14
1.4.2 Метод вихретоковой дефектоскопии	15
1.4.3 Метод радиационной дефектоскопии	16
1.4.4 Метод магнитно-порошковой дефектоскопии	17
1.5 Скин-эффект	17
1.5.1 Причина	18
1.5.2 Уравнение, описывающее скин-эффект	19
1.5.3 Влияние материала на глубину кожи	23
1.5.4 Применение	24
2. Расчётная часть	25
2.1 Зависимость сопротивления материала от частоты	25
3 Экспериментальная часть	37
3.1 Описание конструкции исследовательского объекта	37
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
Введение	47
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	47
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	48
4.3 SWOT - анализ	50
4.4 План проекта	54
4.5 Бюджет научного исследования	57
4.5.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)	57
4.5.2 Специальное оборудование для экспериментальных работ	57
4.5.3 Основная заработная плата	58
4.5.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	61
4.5.5 Отчисления на социальные нужды	62
4.5.6 Научные и производственные командировки	63
4.5.7 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	64
4.5.8 Накладные расходы	64
4.5.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	65
4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования	66

5. Социальная ответственность	70
Введение	70
5.1 Производственная безопасность	70
5.2 Анализ выявленных вредных факторов.	71
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата	71
5.2.2 Недостаточная освещенность.....	73
5.2.3 Повышенный уровень шума.....	77
5.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	78
5.2.5 Вредные вещества в воздухе рабочей зоны.	80
5.3 Анализ выявленных опасных факторов	82
5.3.1 Поражение электрическим током.....	82
5.3.2 Механическая безопасность.....	84
5.3.3 Термическая опасность.	85
5.3.4 Повышенный уровень статического электричества.	85
5.3.5 Пожарная опасность.	86
5.4 Экологическая безопасность	89
5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	89
5.4.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.	89
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	91
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	92
5.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	92
5.8 Нормативно-техническая документация.	93
Заключение	95
Список литературы	96
Приложение А	99

Введение

Все основные дефектоскопические методы нацелены на выявление существующих дефектов, трещин, каверн, непроваров и так далее. Причем тестирование проводится либо сразу после сварки, либо перед вводом объекта в эксплуатацию. Однако существует целый класс материалов и деталей, в которых из-за особых условий эксплуатации происходят изменения на уровне кристаллической решетки, например эффект 'наводораживания', при высокой температуре, давлении и в присутствии водорода, он диффундирует в материал. Атомы водорода проникают внутрь кристаллической решетки, и физические свойства материала меняются, он становится хрупким. При этом в материале еще не наблюдается трещин, то есть обычными дефектоскопическими методами выявить изменение структуры материала и оценить степень ее повреждения не возможно. Метод нуждается в глубокой научной проработке и проведении большого количества экспериментов.

Для оценки степени и глубины наводораживания предлагается использовать Скин-эффект, с его помощью становится возможным измерять омическое сопротивление поверхностных слоев материала, причем в силу своей природы метод является интегральным, то есть измерение происходит по всей контролируемой поверхности изделия. Незначительные неравномерности на поверхности не оказывают существенного влияния на окончательный результат. Использование современных DDS микросхем – цифровых синтезаторов частоты позволяет автоматизировать процесс измерения, исключив из процесса руки человека. Оператор устанавливает только частоту начала и окончания тестирования и шаг приращения частоты. Для повышения достоверности результатов снимаются 3 параметра, отношение амплитуд в точках контроля с выводом в логарифмическом виде - АЧХ, фазовый сдвиг между сигналами в точках контроля - ФЧХ и омическая проводимость в логарифмическом виде между точками контроля. Использование трех различных параметров позволяет исключить влияние реактивных параметров, влияния емкости и индуктивности

на окончательный результат. Достоинством метода является возможность измерения прямо на месте работы контролируемого участка. Накладываются электроды, нажимается кнопка 'Старт' и происходит построение 3-х графиков АЧХ, ФЧХ и сопротивления от частоты. Сравнивая текущие измеренные данные, с данными снятыми непосредственно перед сдачей объекта в эксплуатацию, становится возможным контролировать степень и глубину наводороженного слоя.

1 Дефектоскоп и скин-эффект

1.1 Определение дефектоскопа

В соответствии с различными принципами измерения дефектоскоп можно разделить на: цифровой ультразвуковой дефектоскоп, ультразвуковой дефектоскоп, магнитно-порошковый дефектоскоп, вихретоковый дефектоскоп, радиационный дефектоскоп и люминесцентный дефектоскоп. В основном он используется для обнаружения наличия или отсутствия дефектов (трещины, песочины, воздушные отверстия, белые пятна, засор и т.д.), являются ли сварные швы квалифицированными и имеются ли какие-либо темные дефекты в машине, чтобы определить, являются ли эти детали квалифицированными. На рисунке 1 приведен ультразвуковой дефектоскоп для контроля рельсов [1].



Рисунок 1 - Ультразвуковой дефектоскоп для контроля рельсов

1.2 Применение дефектоскопа

Дефектоскоп имеет широкий диапазон применений, таких как измерение расстояния с помощью ультразвуковых отражений, использование мощных ультразвуковых колебаний для удаления накипи, прикрепленная к котлу, и

использование «ультразвукового ножа созданного из мощного ультразвука для разрушения и дробления раковых изменений, конкремента в организме человека. Одним из наиболее важных применений является использование ультразвукового отражения и других эффектов, сильного проникновения и прямолинейного распространения. Применение обнаружения дефектоскопа в основном включает в себя обнаружение различных материалов в промышленности и обнаружение и диагностику человеческого тела при лечении, через него можно обнаружить такие дефекты, как трещины, песочины, воздушные отверстия в металле и других промышленных материалах, а также другие дефекты. И может определить, являются ли мягкие ткани, кровотоки тела нормальными.

1.3 Принцип обнаружения

Обнаружение дефектоскопа обычно испускает ультразвук измеряемому объекту (например, промышленные материалы, тело человека), а затем использует его отражение, эффект Доплера, пропускание, чтобы получить внутреннюю информацию измеряемого объекта и обработать для формирования изображения. Метод эффекта Доплера использует эффект сдвига Доплера, который возникает, когда ультразвук сталкивается с движущимся объектом и получить характеристики объекта, как направление движения и скорость. Правило передачи получается путем анализа ультразвукового проникновения через измеряемый объект. Применение внутренних характеристик объекта в результате изменения все еще находится на стадии разработки. А метод пропускания определяет внутренние характеристики объекта, анализируя изменения в ультразвуковом проникновении через измеряемый объект, и его применение все еще находится на стадии разработки.

1.4 Способ пользования

На рисунке 2 приведены несколько методы дефектоскопии.



Рисунок 2 - Методы дефектоскопии

1.4.1 Метод ультразвуковой дефектоскопии

Частотный диапазон звуковых волн, которые могут принимать персональные уши, обычно составляет от 20 Гц до 20 кГц, то есть звуковой (акустической) частоты. Частоты ниже 20 Гц называются инфразвуковыми волнами, а частоты выше 20 кГц называются ультразвуковыми волнами. Несколько мегагерцовых ультразвуковых волн обычно используются в промышленности для обнаружения дефектов. При высоких частотах ультразвука, линейность распространения является сильной, и ее легко распространять в твердых телах, и ее легко отразить при столкновении с интерфейсами, образованными двумя разными средами, так что их можно использовать для обнаружения дефектов. Ультразвуковой зонд обычно используется для хорошего контакта с поверхностью обрабатываемой детали. Зонд может эффективно излучать ультразвуковые волны на заготовку и может принимать ультразвуковые волны, отраженные от (дефектного) интерфейса, и преобразовываться в электрические сигналы, а затем передаваться на инструмент для обработки. В соответствии со скоростью распространения ультразвука в среде (часто называемой скоростью звука) и временем распространения, местоположение дефекта может быть известно. Когда дефект больше, поверхность отражения больше, а энергия отражения больше. Поэтому размер каждого дефекта

(эквивалента) можно найти в зависимости от величины отраженной энергии. Обычно используемые формы дефектоскопии включают в себя продольные волны, поперечные волны и поверхностные волны. Первые два подходят для обнаружения внутренних дефектов, а последние подходят для обнаружения поверхностных дефектов, но требуют высоких поверхностных условий.

1.4.2 Метод вихретоковой дефектоскопии

Вихретоковая дефектоскопия представляет собой переменное магнитное поле, генерируемое переменным током, для воздействия на проводящий материал, подлежащий проверке, для индукции вихревых токов. Если в материале есть дефект, он будет мешать генерированным вихревым токам, т. е. формируются сигналы помех. Используя вихретоковые дефектоскопы для обнаружения своих сигналов помех, вы можете знать состояние дефекта. Есть много факторов, которые влияют на вихревые токи, то есть вихревые токи содержат многочисленные сигналы. Эти сигналы связаны со многими факторами материалов. Как отделить полезные сигналы от многих сигналов является проблемой для исследователей вихрей. За прошедшие годы был достигнут определенный прогресс, и некоторые проблемы могут быть решены при определенных условиях. Однако это далеко не соответствует требованиям сцены, и ее необходимо активно развивать [3].

Важной особенностью вихретоковой дефектоскопии является то, что он работает для проводящих материалов, а не обязательно для ферромагнитных материалов, но плохой эффект на ферромагнитные материалы. Во-вторых, поверхностное покрытие обрабатываемой детали оказывает большое влияние на испытания вихревых токов. Поэтому вихретоковая дефектоскопия часто используется для обнаружения неферромагнитных заготовок, таких как медные трубы с относительно регулярными формами и гладкой поверхностью.

1.4.3 Метод радиационной дефектоскопии

Радиационная дефектоскопия - это метод использования проникновения и линейности лучей для обнаружения дефектов. Хотя эти лучи не могут быть непосредственно обнаружены невооруженным глазом, как видимый свет, они могут сделать светочувствительным к свету и также могут быть получены специальными приемниками. Рентгеновские лучи и гамма-лучи, испускаемые изотопами, обычно используются для обнаружения дефектов. Они называются рентгеновскими дефектоскопиями и дефектоскопиями гамма-лучей, соответственно. Когда эти лучи проходят (облучают) материал, чем больше плотность материала, тем интенсивнее излучение ослабляется, т.е. Меньше энергии, которую луч может проникать сквозь материал. В это время, если фотопленка используется для приема, фоточувствительное количество отрицательной пленки невелико, если инструмент используется для приема, полученный сигнал является слабым. Поэтому, когда проверяемая компонента облучается лучами, если внутри дефектов, таких как поры, шлаки и т.д., плотность материала, проходящая через дефектный путь лучей, намного меньше плотности, проходящей через путь без дефектов, а интенсивность меньше уменьшается, т.е., интенсивность передачи больше, а если пленка получена, количество света велико. Из пленки можно отразить плоскую проекцию дефекта, перпендикулярного направлению луча, если используются другие приемники, инструмент может также использоваться для отражения проекции плоскости дефекта, перпендикулярного направлению луча, и количества передачи лучей. Таким образом, при нормальных обстоятельствах обнаружение лучей нелегко найти трещины или обнаружение лучей не чувствительно к трещинам. Поэтому радиационная дефектоскопия наиболее чувствительна к пустотам, засорам и неполным проникновениям. То есть радиационная дефектоскопия подходит для проверки дефектов объема, но не для проверки дефектов области. На рисунке 3 приведен радиационные дефектоскопы.



Рисунок 3 - Радиационные дефектоскопы

1.4.4 Метод магнитно-порошковой дефектоскопии

Магнитно-порошковая дефектоскопия – это метод магнитной дефектоскопии, основанный на принципе магнитной утечки. Когда магнитный поток проходит через ферромагнитный материал и его продукты, поле магнитной утечки будет генерироваться при его (магнитном) разрыве, образуя магнитный полюс. В это время посыпьте сухой магнитный порошок или нанесите магнитную подвеску, магнитный полюс будет адсорбировать магнитный порошок и создать очевидные магнитные метки, которые могут быть непосредственно обнаружены невооруженным глазом. Поэтому магнитные дефекты могут быть использованы для выявления дефектов ферромагнитных материалов и их продуктов. Магнитнопорошковая дефектоскопия может обнаруживать незначительные дефекты, выходящие на поверхность, не может быть непосредственно обнаружен невооруженным глазом или с помощью увеличительного стекла и может обнаруживать приповерхностные дефекты, не выходящие на поверхность, но погребенные на несколько миллиметров под поверхностью [4].

1.5 Скин-эффект

Скин-эффект - это тенденция переменного электрического тока (АС) распределяться внутри проводника, так что плотность тока является наибольшей

вблизи поверхности проводника и уменьшается с увеличением глубины в проводнике. Электрический ток течет в основном по «оболочке» проводника, между внешней поверхностью и уровнем, называемым глубиной оболочки. Оболочечный эффект приводит к увеличению эффективного сопротивления проводника на более высоких частотах, где глубина скин-слоя меньше, тем самым уменьшая эффективное поперечное сечение проводника. Скин-эффект обусловлен противоположными вихревыми токами, вызванными изменяющимся магнитным полем в результате переменного тока. При 60 Гц в меди глубина кожи составляет около 8,5 мм. На высоких частотах глубина кожи становится намного меньше. Повышенное сопротивление переменному току из-за скин-эффекта можно уменьшить с помощью специально сплетенной проволоки из литца. Поскольку внутренняя часть большого проводника несет так мало тока, трубчатые проводники, такие как трубы, могут использоваться для экономии веса и стоимости.

1.5.1 Причина

Проводники, обычно в форме проводов, могут использоваться для передачи электрической энергии или сигналов с использованием переменного тока, протекающего через этот проводник. Носители заряда, составляющие этот ток, обычно электроны, приводятся в действие электрическим полем из-за источника электрической энергии. Переменный ток в проводнике создает переменное магнитное поле внутри и вокруг проводника. Когда изменяется сила тока в проводнике, магнитное поле также изменяется. Изменение магнитного поля, в свою очередь, создает электрическое поле, которое противодействует изменению силы тока. Это противоположное электрическое поле называется противозлектродвижущей силой» (Обратная ЭДС). Обратный ЭДС является самым сильным в центре проводника и заставляет проводящие электроны снаружи проводника, как показано на диаграмме справа.

Переменный ток может также индуцироваться в проводнике из-за переменного магнитного поля в соответствии с законом индукции. Следовательно, электромагнитная волна, падающая на проводник, обычно создает такой ток. Это объясняет отражение электромагнитных волн от металлов.

Независимо от движущей силы плотность тока оказывается наибольшей на поверхности проводника с уменьшенной величиной глубже в проводнике. Это снижение плотности тока известно как скин-эффект, а глубина скин-слоя представляет собой меру глубины, на которой плотность тока падает до $1/e$ от ее значения вблизи поверхности. Более 98% тока будет течь в слое, в 4 раза превышающем глубину кожи от поверхности. Это поведение отличается от постоянного тока, который обычно распределяется равномерно по сечению провода.

Впервые этот эффект был описан в статье Горация Лэмба в 1883 году для случая сферических проводников и был обобщен на проводники любой формы Оливером Хевисайдом в 1885 году. Кожный эффект имеет практические последствия при анализе и проектировании радиочастот и микроволновые цепи, линии передачи (или волноводы) и антенны. Это также важно при частотах сети (50–60 Гц) при передаче и распределении электроэнергии переменного тока системы. Хотя термин «скин-эффект» чаще всего связан с приложениями, включающими передачу электрических токов, глубина скин-слоя также описывает экспоненциальное затухание электрического и магнитного полей, а также плотность индуцированных токов внутри объемного материала, когда плоскость волна падает на него при нормальном падении.

1.5.2 Уравнение, описывающее скин-эффект

Исходим из уравнения Максвелла,

$$\text{rot} \mathbf{B} = \mu \mathbf{j}, \quad (1)$$

и выражения для $\mathbf{j}$ по закону Ома:

$$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}, \quad (2)$$

Дифференцируя обе части полученного уравнения по времени, находим:

$$\text{rot} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \mu \gamma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$-\text{rot rot} \mathbf{E} = \mu \gamma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad (4)$$

Поскольку

$$\text{rot rot} \mathbf{E} = \text{grad div} \mathbf{E} - \nabla^2 \mathbf{E} \text{ и } \text{div} \mathbf{E} = 0, \quad (5)$$

окончательно получаем:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu \gamma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad (6)$$

Для упрощения решения предположим, что ток течёт по однородному бесконечному проводнику, занимающему полупространство $y > 0$ вдоль оси X. Поверхностью проводника является плоскость $Y=0$. На рисунке 6 приведен скин-эффект в бесконечном проводнике с плоской границей.

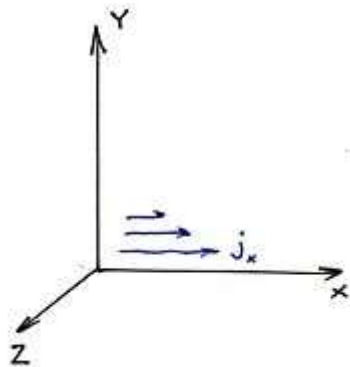


Рисунок 6 - Скин-эффект в бесконечном проводнике с плоской границей

$$\mathbf{j}_x = j_x(y, t), \mathbf{j}_y = \mathbf{j}_z = \mathbf{0}, \quad (7)$$

$$\mathbf{E}_x = E_x(y, t), \mathbf{E}_y = \mathbf{E}_z = \mathbf{0}, \quad (8)$$

Тогда

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} = \mu \gamma \frac{\partial E_x}{\partial t}, \quad (9)$$

В этом уравнении все величины гармонически зависят от t , и можно положить:

$$E_x(y, t) = E_0(y) e^{i\omega t}, \quad (10)$$

Подставим это в наше уравнение и получим уравнение для $E_0(y)$:

$$\frac{\partial^2 E_0}{\partial y^2} = i\mu\gamma\omega E_0, \quad (11)$$

Общее решение этого уравнения таково:

$$E_x = A_1 e^{-ky} + A_2 e^{ky}, \quad (12)$$

Учитывая, что

$$k = \sqrt{i\gamma\mu\omega} = \alpha(1 + j), \quad (13)$$

где $\alpha = \sqrt{\frac{\gamma\mu\omega}{2}}$, находим

$$E_0 = A_1 e^{-\alpha y} e^{-i\alpha y} + A_2 e^{\alpha y} e^{i\alpha y}, \quad (14)$$

При удалении от поверхности проводника ($y \rightarrow \infty$) второе слагаемое неограниченно возрастает, что является физически недопустимой ситуацией. Следовательно, $A_2 = 0$ и в качестве физически приемлемого решения остаётся только первое слагаемое. Тогда решение задачи имеет вид:

$$E_0 = A_1 e^{-\alpha y} e^{i(\omega t - \alpha y)}, \quad (15)$$

Взяв действительную часть от этого выражения и перейдя с помощью соотношения $j = \gamma E$ к плотности тока, получим

$$j_x(y, t) = A_1 e^{-\alpha y} \cos(\omega t - \alpha y), \quad (16)$$

Принимая во внимание, что $j_x(0, 0) = j_0$ — амплитуда плотности тока на поверхности проводника, приходим к следующему распределению объёмной плотности тока в проводнике:

$$j_x(y, t) = j_0 e^{-\alpha y} \cos(\omega t - \alpha y), \quad (17)$$

Итак, если ток течет параллельно границе раздела проводник-вакуум, то плотность тока j убывает с глубиной проникновения в проводник по экспоненциальному закону

$$j(y) = j_0 \exp(-y/\delta), \quad (18)$$

где введено $\delta = 1/\alpha$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\gamma\mu\omega}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f \gamma \mu}}, \quad (19)$$

– величина, характеризующая глубину проникновения тока или толщину скин-слоя, j_0 – плотность тока у поверхности проводника, μ – магнитная проницаемость вещества проводника, γ – удельная электрическая проводимость, $\omega = 2\pi f$ – круговая частота переменного тока.

Отметим, что формула (19) будет давать тем более точную оценку глубины скин-слоя в проводниках конечного сечения, чем более их поперечные размеры превышают глубину скин-слоя δ . На рисунке 7 показывается изменение плотности переменного тока в проводнике с расстоянием от поверхности.

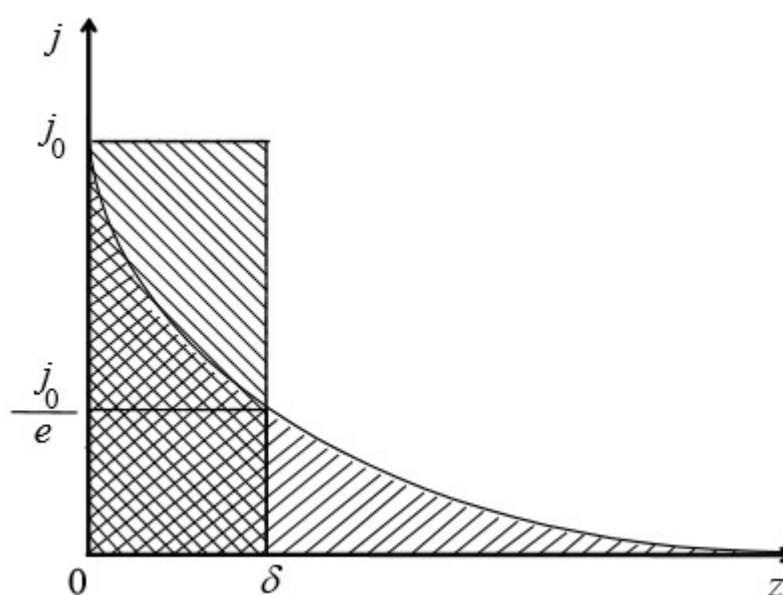


Рисунок 7 - Изменение плотности переменного тока в проводнике с расстоянием от поверхности

На рисунке 8 показывает распределение плотности тока по поперечному сечению цилиндрического проводника радиуса r_0 . Из-за скин-эффекта большая часть переменного тока протекает в поверхностном слое толщиной δ , поэтому можно приближенно считать, что при протекании тока задействовано лишь сечение проводника $S_{\text{пврвм}} = 2\pi r_0 \delta$, то есть значительная часть проводника поперечное сечение не используется. В результате сопротивление проводника переменному току увеличивается [7].

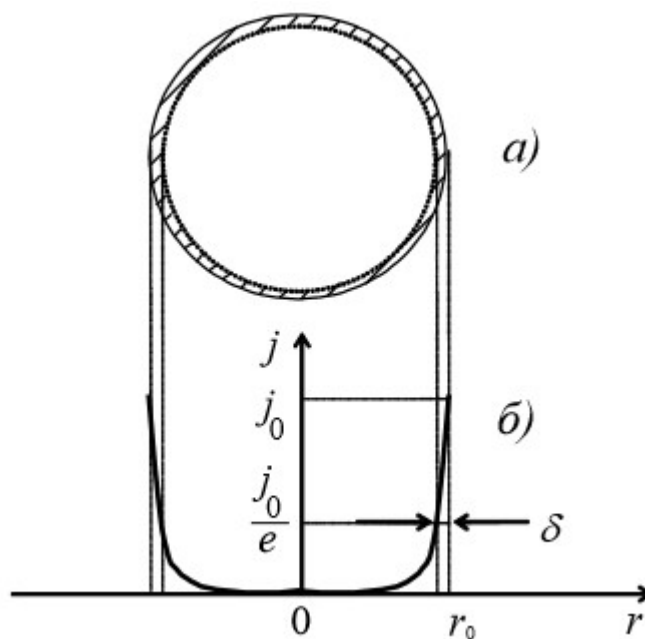


Рисунок 8 - Распределение плотности тока

а) – поперечное сечение цилиндрического проводника радиуса r_0 (заштрихован скин-слой), б) распределение плотности переменного тока вдоль радиуса r проводника (для некоторой конкретной частоты переменного тока).

В случае сильно выраженного скин-эффекта сопротивление проводника эквивалентно сопротивлению полого цилиндра со стенками, толщина которых равна глубине скин-слоя δ [8].

1.5.3 Влияние материала на глубину кожи

В хорошем проводнике глубина кожи пропорциональна квадратному корню из удельного сопротивления. Это означает, что лучшие проводники имеют уменьшенную глубину кожи. Общее сопротивление лучшего проводника остается ниже даже при уменьшенной глубине оболочки. Однако лучший проводник будет показывать более высокое соотношение между сопротивлением переменного и постоянного тока по сравнению с проводником с более высоким удельным сопротивлением. Например, при 60 Гц медный проводник сечением 2000 мКм (1000 квадратных миллиметров) имеет на 23% больше сопротивления, чем при постоянном токе. Проводник такого же размера

из алюминия имеет сопротивление на 60 Гц только на 10% больше, чем с постоянным током [9].

Глубина скин-слоя также изменяется как обратный квадратный корень проницаемости проводника. В случае железа его проводимость составляет около 1/7 от проводимости меди. Однако, будучи ферромагнитным, его проницаемость примерно в 10000 раз выше. Это уменьшает глубину залегания для железа примерно до 1/38, а у меди - около 220 микрометров при 60 Гц. Таким образом, железная проволока бесполезна для линий электропередачи переменного тока (за исключением добавления механической прочности, служащей сердечником для неферромагнитного проводника, такого как алюминий). Скин-эффект также уменьшает эффективную толщину слоистых материалов в силовых трансформаторах, увеличивая их потери.

Железные прутки хорошо работают для сварки постоянным током (DC), но их нельзя использовать на частотах, намного превышающих 60 Гц. При мощности в несколько килогерц сварочный стержень будет светиться красным цветом, когда ток протекает через сильно увеличенное сопротивление переменного тока, вызванное скин-эффектом, при этом для самой дуги остается относительно мало энергии. Для высокочастотной сварки могут использоваться только немагнитные стержни.

При 1 мегагерце глубина скин-эффекта во влажной почве составляет около 5,0 м, в морской воде - около 0,25 м [10].

1.5.4 Применение

Скин-эффект основан на действии взрывных магнитных генераторов (ВМГ), взрывных магнитных частотных генераторов (ВМГЧ) и, в частности, ударно-волновых излучателей (УВИ) [10].

Из-за скин-эффекта на высоких частотах тепло выделяется в основном в поверхностный слой. Это позволяет проводнику нагреваться в тонком поверхностном слое без значительного изменения температуры внутренних

областей. Это явление используется в важном, с промышленной точки зрения, методе поверхностного упрочнения металлов.

2. Расчётная часть

2.1 Зависимость сопротивления материала от частоты

Предположим, что есть циркониевый стержень, длина - 1 м, радиус - 5 мм. Рассчитываем на изменение сопротивления из-за скин-эффекта при частоте от 1 кГц до 100 МГц.

Таблица 1 - Удельное электрическое сопротивление некоторых металлов [13]

Металл	ρ , Ом·мм ² /м	ρ , Ом·м
Серебро	0,015...0,0162	$1.53 \cdot 10^{-8}$
Медь	0,01724...0,018	$1.724 \cdot 10^{-8}$
Золото	0,023	$2.32 \cdot 10^{-8}$
Алюминий	0,0262...0,0295	$2.620 \cdot 10^{-8}$
Иридий	0,0474	$4.740 \cdot 10^{-8}$
Молибден	0,054	$5.400 \cdot 10^{-8}$
Вольфрам	0,053...0,055	$5.440 \cdot 10^{-8}$
Цинк	0,059	$5.90 \cdot 10^{-8}$
Никель	0,087	$8.70 \cdot 10^{-8}$
Железо	0,098	$9.80 \cdot 10^{-8}$
Платина	0,107	$10.70 \cdot 10^{-8}$
Олово	0,12	$12.00 \cdot 10^{-8}$
Свинец	0,217...0,227	$21.70 \cdot 10^{-8}$
Титан	0,5562...0,7837	$55.620 \cdot 10^{-8}$
Цирконий	0,405...0,411	$40.5 \cdot 10^{-8}$
Висмут	1,2	$120.0 \cdot 10^{-8}$

Объемная плотность тока максимальна на поверхности проводника. С удалением от поверхности оно экспоненциально уменьшается, а на глубине δ становится меньше e . Эта глубина называется толщиной скин-слоя и, исходя из формулы, полученной выше, равна:

$$\delta(f) := 503 \sqrt{\frac{\rho_1}{f \cdot \mu_1}}, \quad (20)$$

Где μ_1 – магнитная проницаемость вещества проводника, ρ_1 – удельное сопротивление, f – частота, толщина скин-слоя в м.

Когда глубина слоя оболочки больше, чем радиус проволоки, это фактически не влияет на сопротивление провода, но когда глубина слоя оболочки меньше, чем радиус проволоки, эффективная проводящая площадь проволока уменьшается.

Скин-эффект тока приводит к уменьшению эффективной проводящей площади провода и соответствующему увеличению сопротивления току.

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{\rho L}{\pi r^2 - \pi (r - \delta)^2}, \quad (21)$$

где: $\rho = 40.5 \cdot 10^{-8}$ – удельное сопротивление циркония.

$r = 5$ мм – радиус трубки из циркония.

$r_0 = 4$ мм – радиус внутреннего отверстия трубки.

$f = 10^3, 2 \cdot 10^3 \dots 10^8$ – начальная частота 1 кГц, шаг 1 кГц, окончание 100 МГц.

$$\delta(f) := 503 \sqrt{\frac{\rho_1}{f \cdot \mu_1}}, \quad (22)$$

где: μ_1 – магнитная проницаемость циркония = 1

ρ_1 – удельная электропроводность циркония = $40.5 \cdot 10^{-8}$ Ом*м.

$\delta(f)$ – толщина скин – слоя циркония(мм)

На рисунке 9 показывает зависимость толщины скин-слоя в цирконии от частоты.

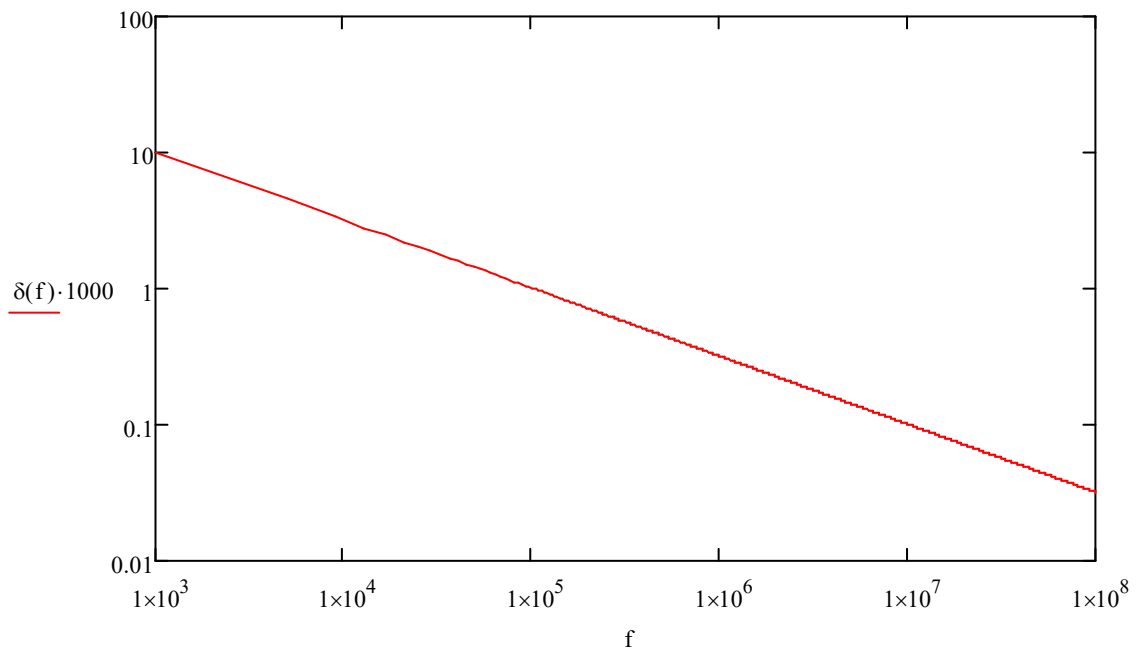


Рисунок 9 - Зависимость толщины скин-слоя в цирконии от частоты в мм

$$R(f) := \begin{cases} \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot r^2} & \text{if } \delta(f) > 0.005 \\ \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot (r - \delta(f))^2} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (23)$$

где: $\rho_1 = 40.5 \cdot 10^{-8}$ - удельное сопротивление циркония.

$r = 5$ мм – радиус стержня (трубки) из циркония.

l = длина стержня, (трубки) из циркония 1 м.

$r_0 = 4$ мм – радиус внутреннего отверстия трубки.

$f = 10^3, 2 \cdot 10^3 \dots 10^8$ – начальная частота 1 кГц, шаг 1 кГц, окончание 100 МГц.

$\delta(f)$ – толщина скин – слоя циркония(мм) в зависимости от частоты.

$R(f)$ -сопротивление циркониевого стержня

Теперь предположим, что есть циркониевая труба, длина 1 м, радиус 5 мм, радиус отверстия 4 мм. Рассчитайте изменение сопротивления при изменении частоты.

$$a(f) := \begin{cases} \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot r d^2} & \text{if } \delta(f) > 0.001 \\ \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot (r - \delta(f))^2} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (24)$$

где: $a(f)$ - сопротивление циркониевой трубки в зависимости от частоты.

Мы также предполагаем, что циркониевая труба насыщена водородом на глубину 0,1 мм, длина трубы 1 м, радиус трубы 5 мм, радиус отверстия 4 мм. Рассчитайте сопротивление трубки при изменении частоты в диапазоне от 1 кГц до 100 МГц. По формуле (25) рассчитывается стойкость слоя к ненасыщенному водороду. Согласно формуле (26) рассчитывается сопротивление насыщенного водородом слоя толщиной 0,1 мм, предполагается, что удельное сопротивление насыщенного водородом циркония увеличится на 10 процентов. По формуле (27) результирующее сопротивление рассчитывается как сопротивление резисторов, соединенных параллельно.

$$c(f) := \begin{cases} \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot (r - 0.0001)^2 - \pi \cdot r d^2} & \text{if } \delta(f) > 0.001 \\ \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot (r - 0.0001)^2 - \pi \cdot (r - \delta(f))^2} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (25)$$

$$d(f) := \begin{cases} \frac{\rho_1 \cdot l \cdot 1.1}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot (r - 0.0001)^2} & \text{if } \delta(f) > 0.0001 \\ \frac{\rho_1 \cdot l \cdot 1.1}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot (r - \delta(f))^2} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (26)$$

$$w(f) := \frac{(c(f) \cdot d(f))}{c(f) + d(f)}, \quad (27)$$

Для оценки изменения графика сопротивления в зависимости от глубины насыщения приведены формулы для расчета насыщенности водородом 0,2 мм поверхностного слоя циркониевой трубки.

$$e(f) := \begin{cases} \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot (r - 0.0002)^2 - \pi \cdot r d^2} & \text{if } \delta(f) > 0.001 \\ \frac{\rho_1 \cdot l}{\pi \cdot (r - 0.0002)^2 - \pi \cdot (r - \delta(f))^2} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (28)$$

$$g(f) := \begin{cases} \frac{\rho_1 \cdot l \cdot 1.1}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot (r - 0.0002)^2} & \text{if } \delta(f) > 0.0002 \\ \frac{\rho_1 \cdot l \cdot 1.1}{\pi \cdot r^2 - \pi \cdot (r - \delta(f))^2} & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (29)$$

$$v(f) := \frac{e(f) \cdot g(f)}{e(f) + g(f)}, \quad (30)$$

На рисунке 10 показаны 4 графика, R (f) - график изменения сопротивления твердого стержня циркония в зависимости от частоты. Характерной особенностью можно указать частоту разрушения графика на частоте 5 кГц. График а (f) для трубки из циркония без насыщения стенки водородом, а для всех трубок первой характерной точкой является частота перегиба в области 100 кГц. Это перегиб зависит от физических размеров трубы, ее радиуса и радиуса отверстия, точнее от толщины стенки. Видно, что график а (f) идет линейно до частоты 100 МГц. График w (f) - стенки трубки насыщен до глубины 0,1 мм, что повлекло за собой увеличение удельного сопротивления на 10% (например). Вторая характеристика изгибается на частоте 50 МГц. График v (f) соответствует глубине насыщения 0,2 мм. Вторая характеристическая кривая графика находится на частоте 9 МГц.

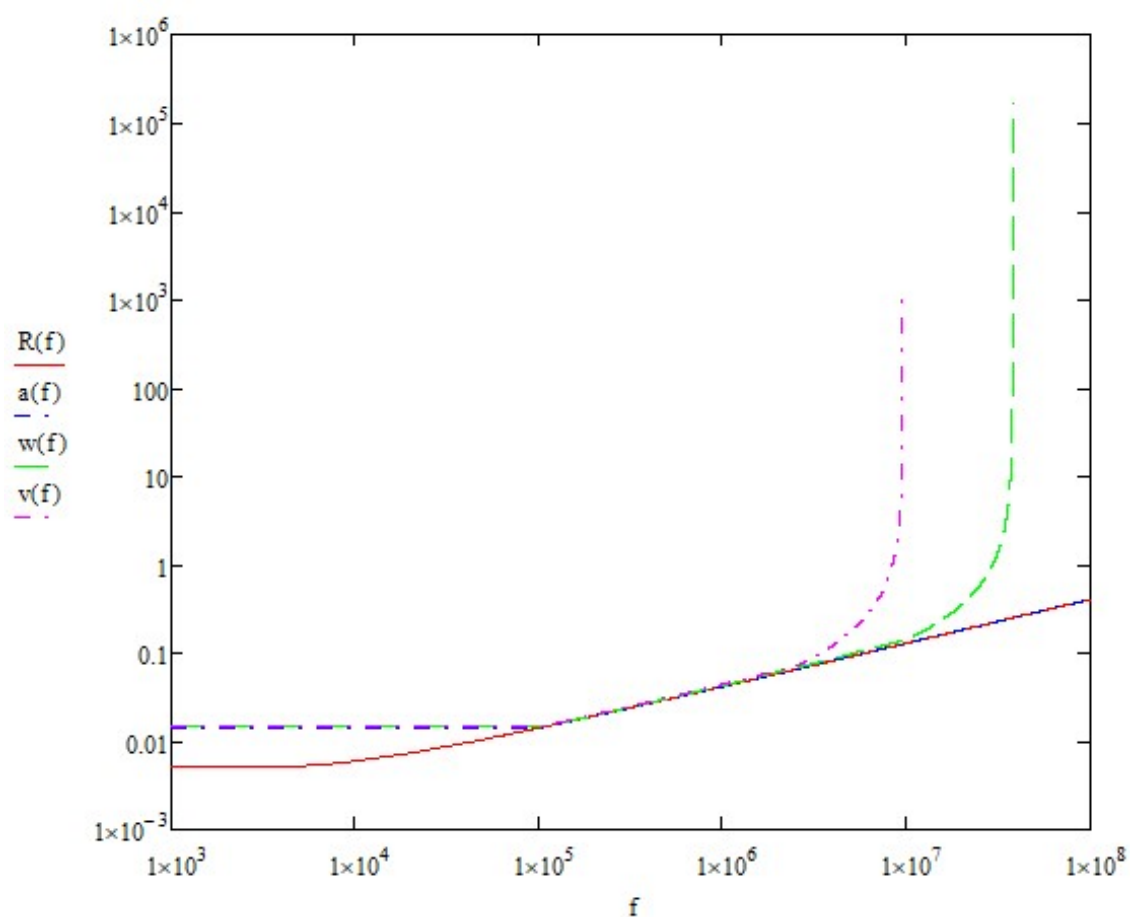


Рисунок 10 - Зависимость сопротивления от частоты для циркониевой трубки

На рисунке 11 приведены графики: $a(f)$ – точка перегиба трубки из чистого циркония = 100 кГц, $d(f)$ - для слоя насыщения водорода толщиной 0.1мм = 10 МГц, $g(f)$ – для слоя насыщения 0.2мм = 4 МГц.

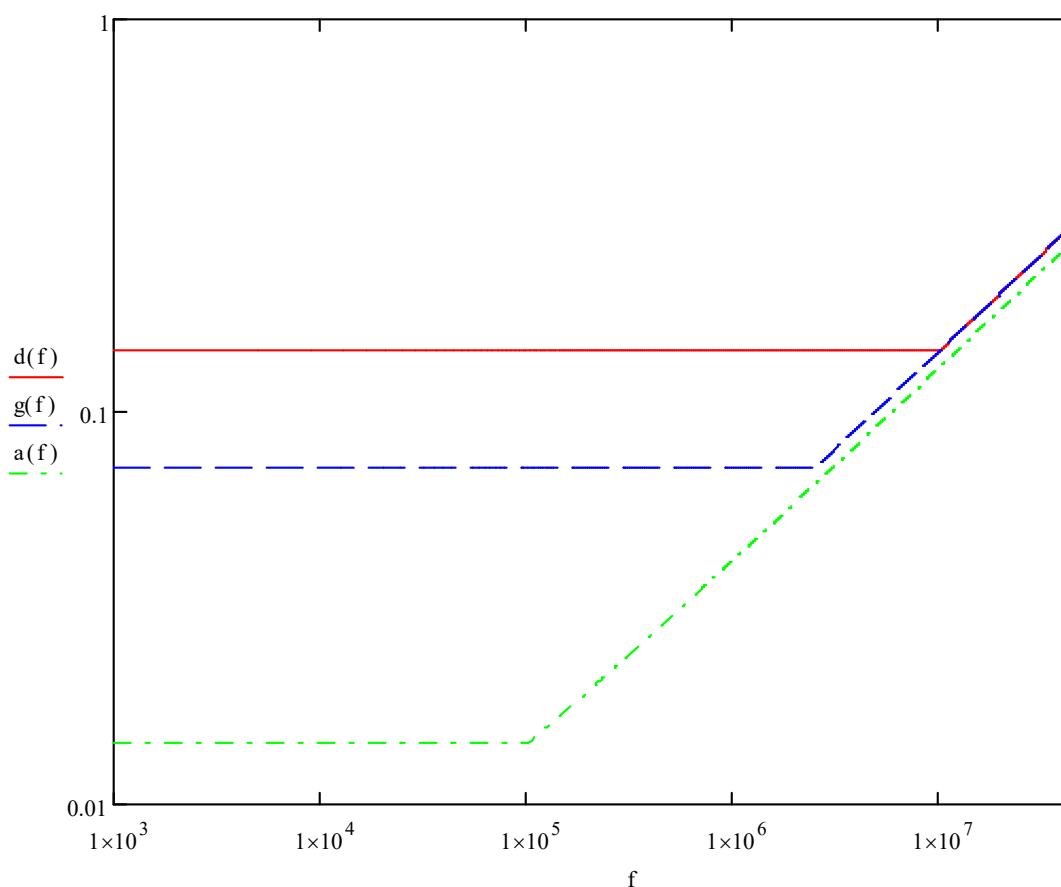


Рисунок 11 - Зависимость сопротивления от частоты для циркониевой трубки для разных толщин насыщения водородом

Выводы:

Для проведения полноценного исследования скин-эффекта необходим управляемый DDS генератор в диапазоне частот 1 кГц до 100 – 150 МГц.

в расчетах использовались большие допущения, считалось, что ток не течет за пределы глубины скин-слоя и материал не участвует в расчетах сопротивления. Индуктивный компонент не учитывается, на высоких частотах он может занимать значительное количество. Несмотря на это, метод определения сопротивления в зависимости от частоты в диапазоне от 100 кГц до 100 МГц с использованием для анализа информации о точках разрыва графиков, выявленной зависимости, позволит контролировать глубину насыщения водородом из различных материалов.

При различных технологических операциях, связанных с производством титановых и циркониевых заготовок и проката, наблюдаются сложные структурные изменения в поверхностном слое и в металле в целом. Образуются насыщенные слои, которые характеризуются на определенной глубине металла наличием фаз введения водорода и изменением параметров кристаллической решетки металла. В результате ухудшаются условия обработки, снижается пластичность металла, ухудшаются эксплуатационные свойства деталей и появляются структурные дефекты. Эти локальные дефекты конструкции наиболее опасны, так как даже при незначительных динамических нагрузках в этих местах образуются трещины, которые в конечном итоге приводят к разрушению детали в условиях эксплуатации. Поэтому обработка этих сплавов ионизирующим излучением имеет перспективное значение. В общих чертах, изучение поведения водородной подсистемы в металлах при применении ее свойств в различных областях водородной энергетики представляет большой интерес [19].

Исследования структуры металлов, обогащенных водородом, позволяют сделать ряд выводов о наличии зависимости между содержанием водорода и сопротивлением насыщенного водородом материала на разных глубинах. [20] На рисунке 12 показывает микротрещины (слева) и кратеры (справа) на поверхности титана после 120-минутного отклонения водорода (увеличение 1500). Из рисунки 9 следует выраженной неоднородности расположения микротрещин по форме, направлению и глубине. В качестве примера на рисунке 13 показывает распределение водорода по глубине водород-титан. В частности, как следует из рисунки 13, объем водорода накапливается в слое толщиной до 0,6 мкм. Как правило, значение водорода, включенного в титан, зависит от времени гидрирования. При гидрировании по методу сверса содержание водорода в образцах зависит от температуры и времени гидрирования, тогда как водород, в зависимости от времени и температуры гидрирования, сложно распределен по глубине образца [20].

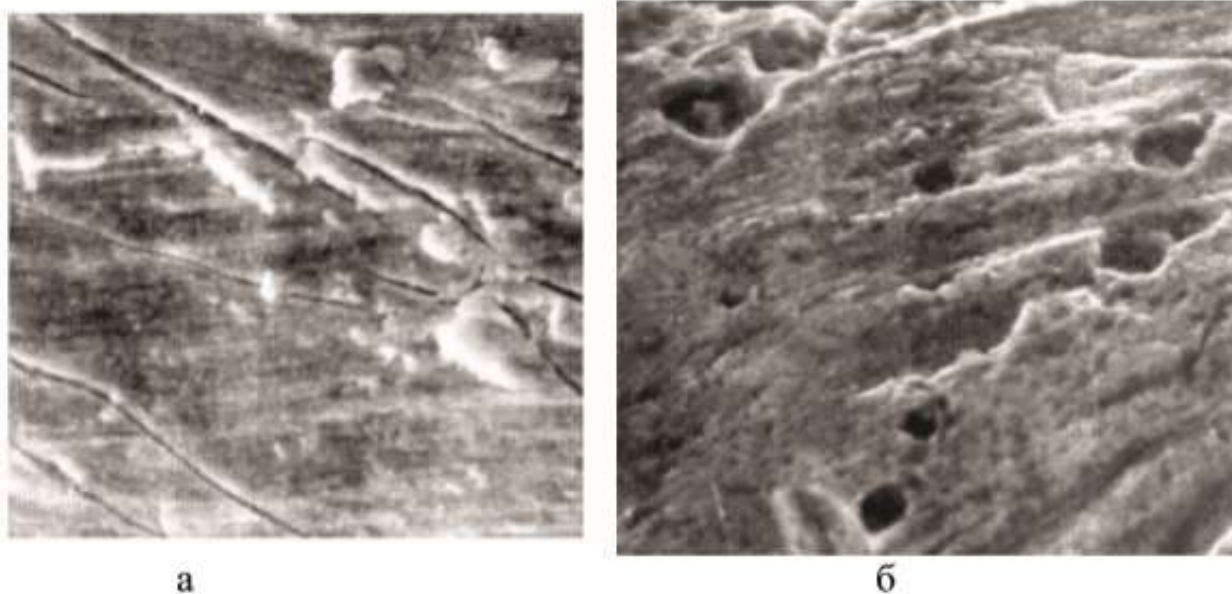


Рисунок 12 - Микротрещины (а) и кратеры (б) на поверхности титана после 120 мин наводороживания (увеличение 1500)

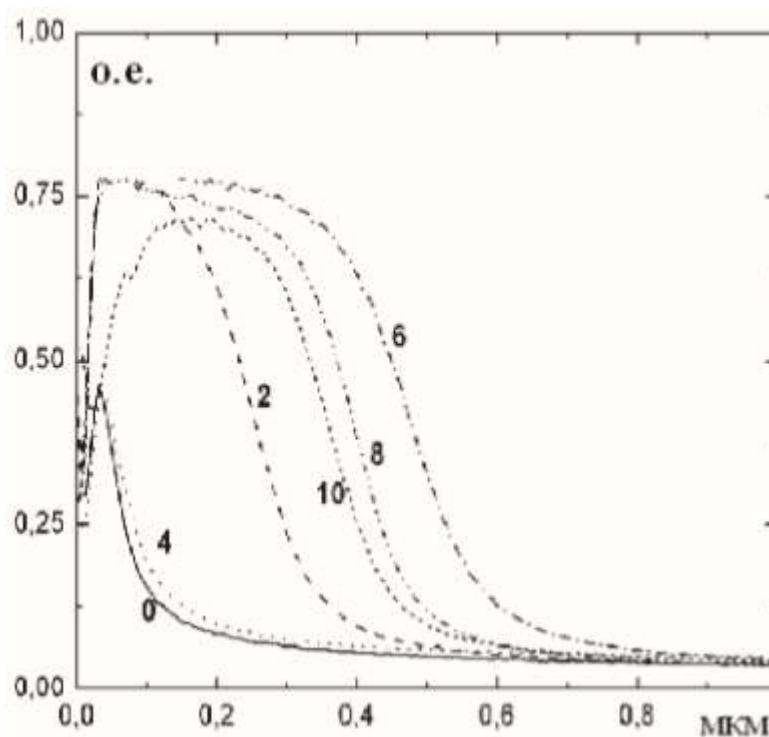


Рисунок 13 - Распределение водорода (в относительных единицах) по глубине (мкм) титанового образца при его насыщении водородом в процессе электролиза. Ток электролиза 0,06 А. Цифры у кривых указывают время насыщения в часах [22].

Кроме того, когда водород входит в металл, происходит изменение кристаллической структуры, что также влияет на электропроводность. Изменение кристаллической структуры титана при насыщении водородом изучали на дифрактометре PDIFF Beamline.[23] Дифрактограмма рис. 14 показывает динамику образования фазы TiH_2 . Числа на кривых указывают время насыщения водородом: 1) 0; 2) 5; 3) 15; 4) 45; 5) 60; 6) 130; 7) 170 мин. Из приведенной выше дифрактограммы можно видеть, что при гидрировании в металле на различных глубинах гидриды титана TiH_n образуются с различным числом атомов водорода в молекуле гидроксида в зависимости от количества водорода, внедренного в металл. По дифрактограммам об этом можно судить по величине пиков, характерных для гидридов титана. Помимо времени насыщения образование гидридов зависит от температуры насыщения образцов водородом. В любом случае происходит неравномерное распределение водорода по глубине образца [24].

Значения активной и реактивной составляющей сопротивления вихревых токов на разных частотах и для разных энергий облучения приведены в таблице. Характер изменения сопротивления по глубине образца указывает на заметную корреляцию между сопротивлением на разных глубинах образца и степенью облучения металла.

Таблица 2 - Показания вихретокового прибора для циркония, облученного электронами (образец) [25]

Частота, кГц	Исходный		15 кэВ, 10 Дж		15 кэВ, 18 Дж		<i>a</i> мм
	Re	Im	Re	Im	Re	Im	
50	8,1	10,0	7,8	0,8	8,2	0,9	1,46
200	40,0	29,2	38,7	28,7	41,2	31,0	0,73
450	28,5	66,2	31,2	65,8	34,2	69,8	0,49
600	22,7	66,1	19,4	66,1	20,4	70,8	0,42
.....							
1400	3,1	36,3	5,3	34,5	4,1	36,3	0,27

R_e – активное сопротивление; I_m – реактивное сопротивление в относительных единицах; a – примерная глубина проникновения вихревых токов в металл

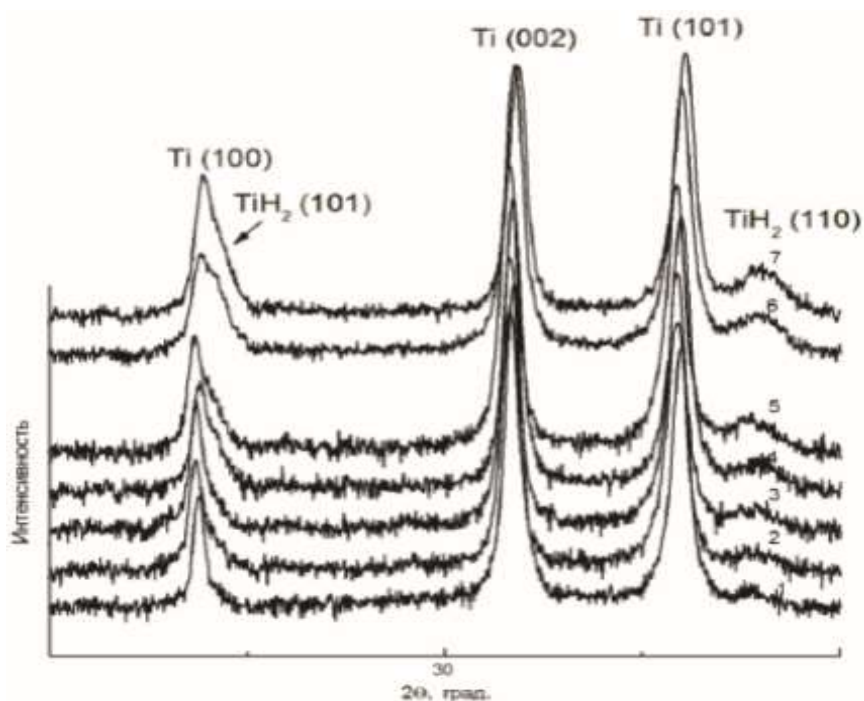


Рисунок 14 - Динамика образования фазы TiH₂

Как следует из таблицы, на глубине до 1,5 мм средние показатели облученных и необлученных образцов характеризуются одинаковыми значениями активного сопротивления и резко разными значениями реактивного сопротивления. Это может указывать на изменение структуры материала. Модификация поверхности циркония под действием облучения импульсным электронным пучком подтверждается рядом исследований. Облучение импульсным электронным пучком приводит к модификации поверхностного слоя сплава циркония Э110. Глубина модифицированного слоя при плотности энергии $E_s = 18$ Дж / см², определенной с помощью РЭМ (рисунок 15), оказалась равной 2,3 мкм. При облучении ИЭП в зависимости от величины плотности энергии в импульсе рельеф сглаживается и поверхность структурируется с появлением в нем кристаллитов в виде правильных шестиугольников с размером лица около 6 ... 7. микрон. Импульсное электронное облучение также вызывает

рост (увеличение) размера зерен циркониевого сплава Э110. Этот эффект изменяет значения сопротивления вихревых токов, проникающих на разные глубины металла [26].

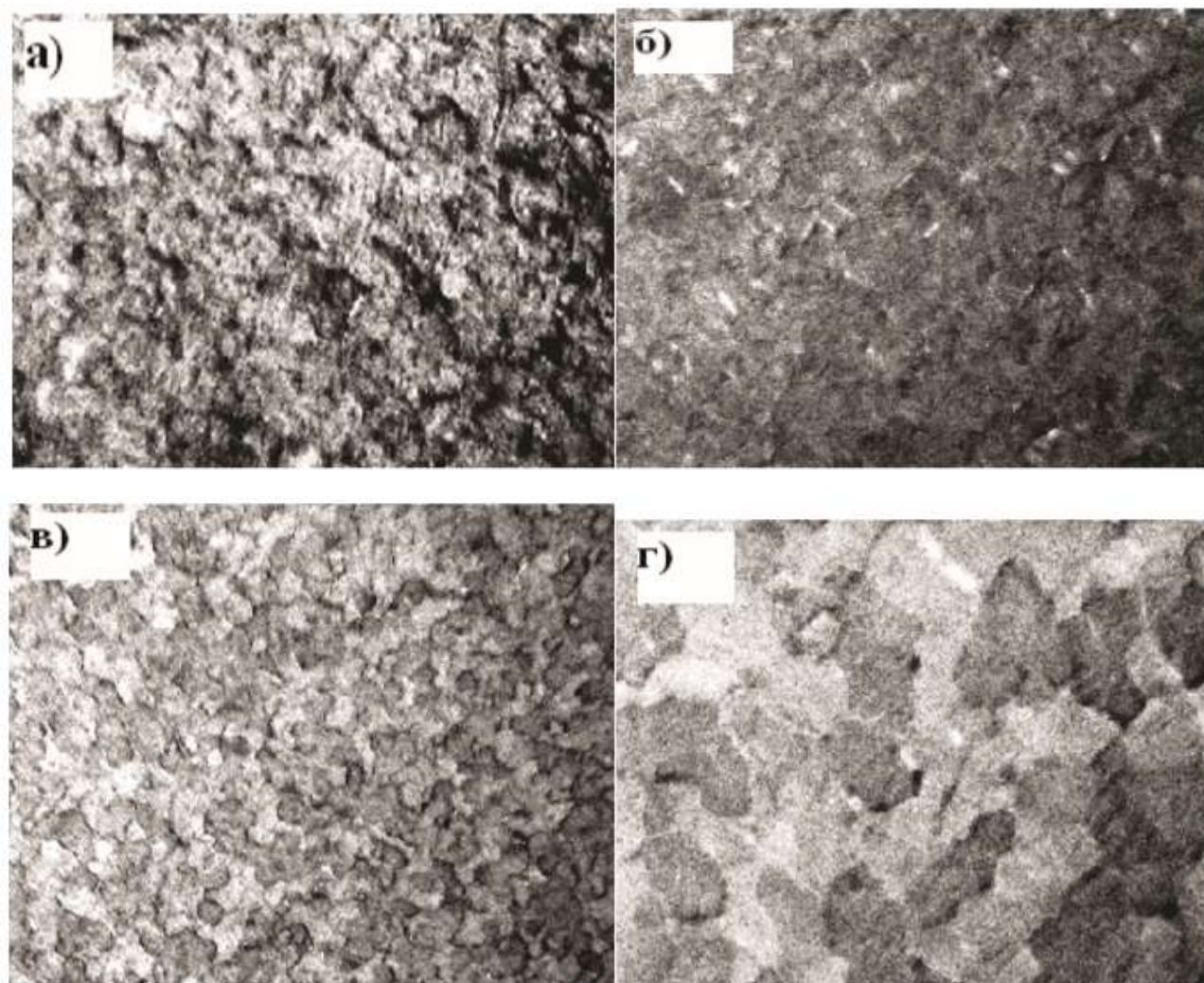


Рисунок 15 - Поверхности металла для различных энергий облучения электронами образцов сплава циркония: а, б) 15 Дж/см²; в, г) 20 Дж/см²

Таким образом, на глубине примерно 0,5 мм (450 кГц) увеличение активного сопротивления наблюдается с увеличением дозы излучения, в то время как емкостное сопротивление остается неизменным в пределах погрешности измерения. Эти данные подтверждают возможное искажение кристаллической решетки циркония в процессе модификации ИЭП за счет повышения уровня внутренних напряжений в металле. При гидрировании образцов из сплава

циркония одной из основных причин ускоренного накопления водорода в образцах может быть увеличение шероховатости поверхности, о чем свидетельствуют результаты лазерной профилометрии. Сравнение результатов накопления водорода в образцах, поверхность которых облучена электронным пучком, с исходными образцами показывает, что водород накапливается в облученных образцах значительно меньше. Для всех исследованных времен гидрирования максимальная глубина захвата водорода на дефектах не превышает 20 мкм. Чтобы получить полную картину результатов модификации материала, необходим метод послойного определения содержания водорода в металле [27].

3 Экспериментальная часть

3.1 Описание конструкции исследовательского объекта

На рисунке 16 показана блок-схема устройства для измерения скин-эффекта. Входная часть позволяет измерять импеданс нагрузки, активное и реактивное сопротивление и фазовый сдвиг в выходном сигнале в широком диапазоне $+ -180$ градусов. Генератор DDS позволяет генерировать синусоидальный сигнал в широком частотном диапазоне от долей Гц до 5 МГц. Входная часть представлена двумя микросхемами AD8302 и AD8307. Микросхема AD8302 позволяет измерять взаимосвязь между амплитудами сигналов, подключенных ко 2-м входам, и фазовым сдвигом между входными сигналами. Таким образом, можно рассчитать комплексное сопротивление тестируемого образца. Микросхема AD8307 позволяет измерять амплитуду входных сигналов с выходом в логарифмическом масштабе в широком диапазоне частот, вплоть до 500 МГц.

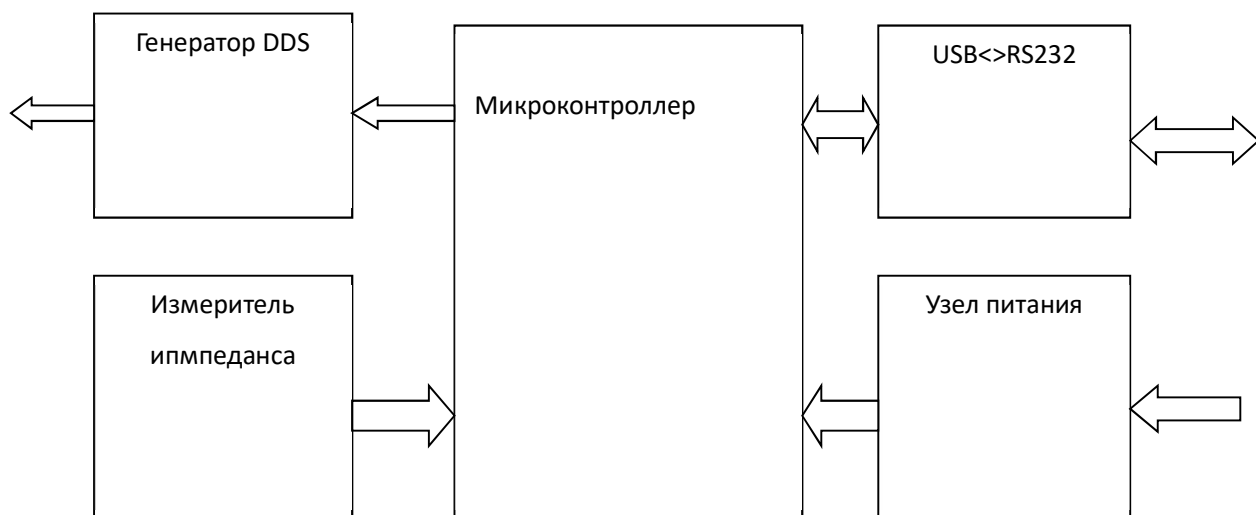


Рисунок 16 – Структурная схема прибора для измерения скин-эффекта

На рисунке 17 показана принципиальная схема устройства для измерения скин-эффекта. Микросхема ATxmega16 используется в качестве управляющего микроконтроллера. Внутренних и внешних ресурсов достаточно для решения задачи управления микросхемой DDS, вычисления контрольных коэффициентов, оцифровки входных данных и обмена данными с программой, загруженной в управляющий ПК.

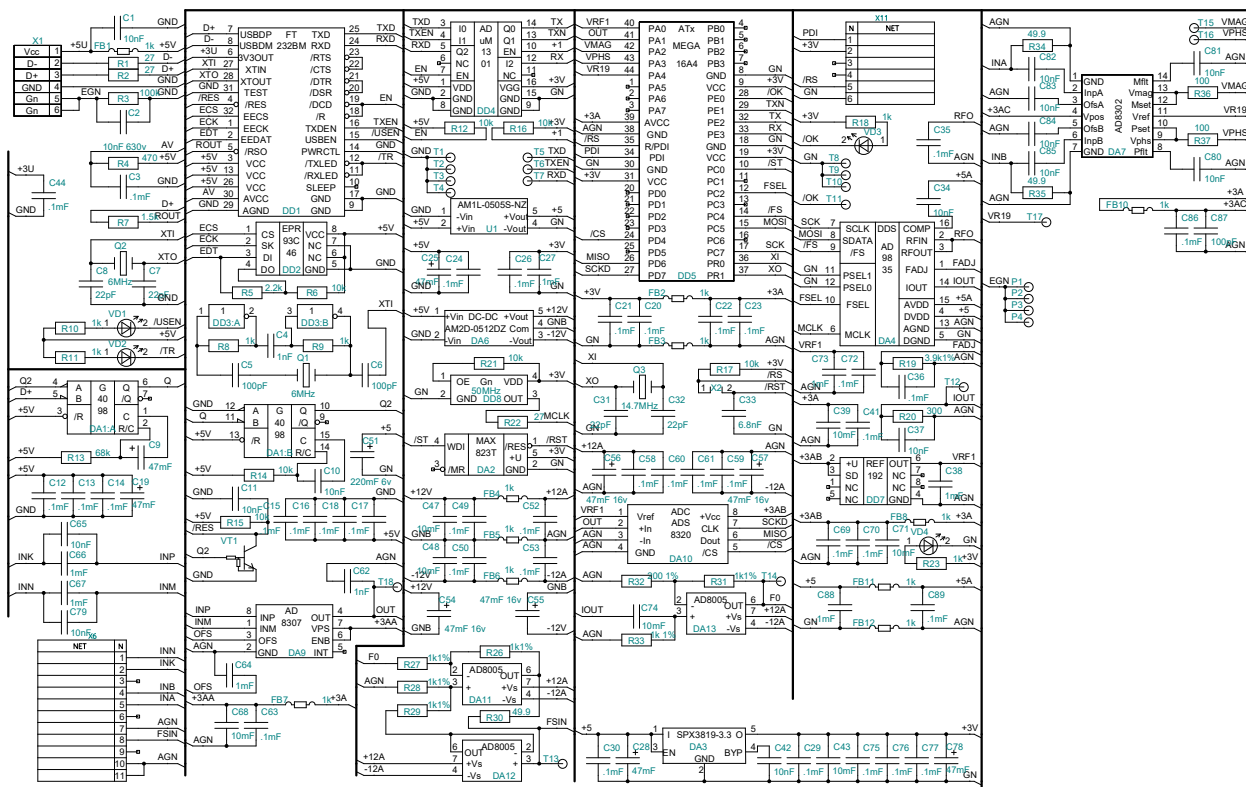


Рисунок 17 – Принципиальная схема прибора для измерения скин-эффекта

На рисунке 18 показан внешний вид платы для изучения скин-эффекта. Плата находится в процессе написания программного обеспечения для управления.

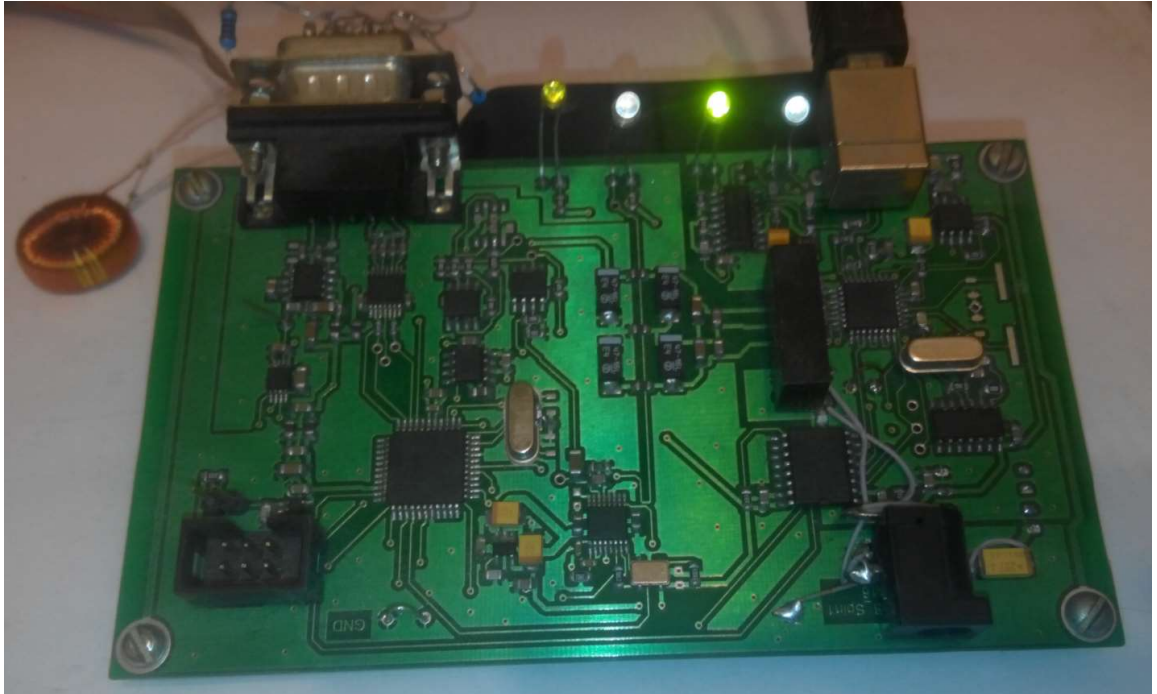


Рисунок 18 - Внешний вид платы

- отдельные побочные компоненты на выходе DDS могут быть значительно большими, чем у других видов синтеза. Спектральная чистота выходного сигнала DDS сильно зависит от качества ЦАП.

- потребляемая DDS мощность практически прямо пропорциональна тактовой частоте и может достигать сотен милливатт. При больших тактовых частотах DDS могут оказаться непригодными для устройств с батарейным питанием.

Построение амплитудно – частотной характеристики, фазочастотной характеристики и сопротивление в зависимости от частоты для индуктивности $L = 480 - 560$ мкГн, конденсатора $C = 0.1$ мрФ 5%, параллельного и последовательных контуров образованных из этих элементов.

Резонансная частота контура определяется так называемой формулой Томсона:

Рассчитать диапазон резонансной частоты

$$f = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{LC}} \quad (31)$$

$$f1 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{4.8 * 10^{-4} * 10^{-7}}} = 2.30 * 10^4 = 23 \text{кГц}$$

$$f2 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{5.6 * 10^{-4} * 10^{-7}}} = 2.13 * 10^4 = 21.3 \text{кГц}$$

$$f3 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{4.8 * 10^{-4} * 10^{-7} * 0.95}} = 2.36 * 10^4 = 23.6 \text{кГц}$$

$$f4 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{4.8 * 10^{-4} * 10^{-7} * 0.95}} = 2.18 * 10^4 = 21.8 \text{кГц}$$

$$f5 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{4.8 * 10^{-4} * 10^{-7} * 1.05}} = 2.24 * 10^4 = 22.4 \text{кГц}$$

$$f6 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{4.8 * 10^{-4} * 10^{-7} * 1.05}} = 2.08 * 10^4 = 20.8 \text{кГц}$$

Таблица 3 - Резонансная частота контура

L, мкГн	C, мкФ	f, кГц
480	1	23,0
560	1	21,3
480	0,95	23,6
560	0,95	21,8
480	1,05	22,4
560	1,05	20,8

Эксперимент №1 параллельный резонансный контур L = 480 – 560 мкГн, конденсатора C = 0.1 мкФ 5%. Рисунок 19 Снимаются отклики в 100 точках, первая точка 10 кГц, с шагом в 1 кГц. Синим цветом строится график амплитудно – частотной характеристики, темно сиреневым цветом график фазо-частотной характеристики и красным цветом строится график сопротивления от частоты. В первой четверти графика вырисовывается классический график резонансного контура.

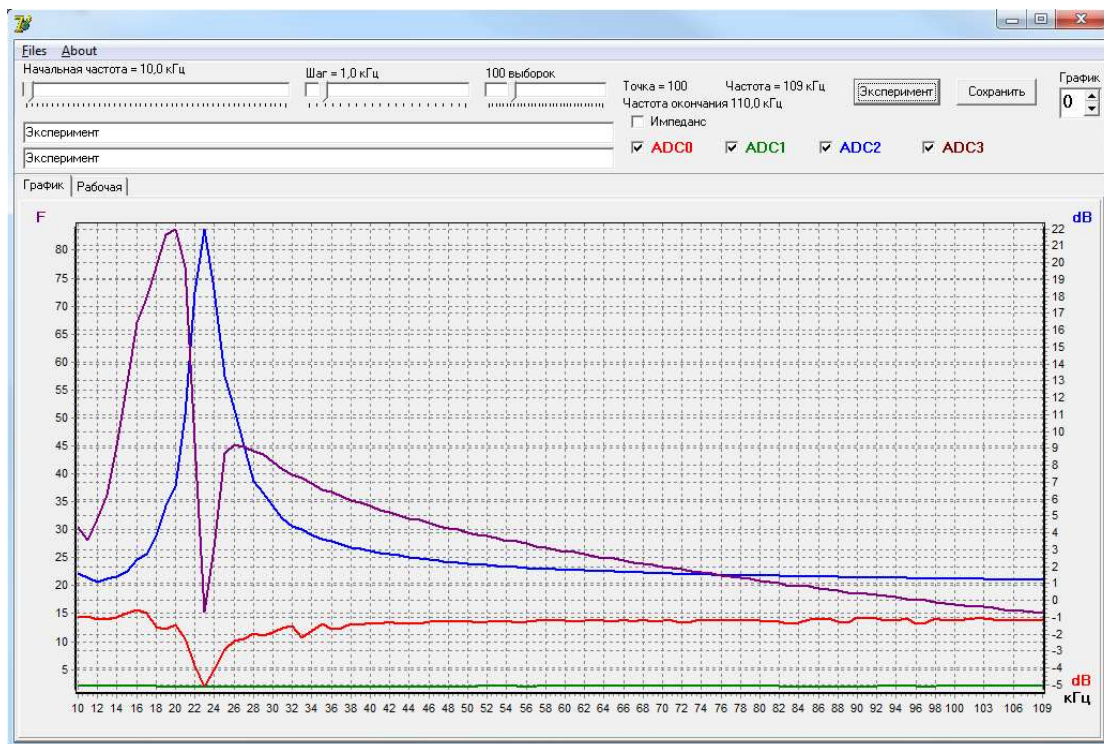


Рисунок 19 - Обзорный суммарный график АЧХ, ФЧХ и сопротивление в зависимости от частоты

Выделим и увеличим область резонанса для уточнения центральной частоты колебательного контура. Из рисунка 20 видно, что резонанс приходится на частоту 23 кГц. Расчет резонансной частоты при использовании значений 480мГн и 0.1 мкФ дает частоту 22972 гц, ~ 22.9 кГц .

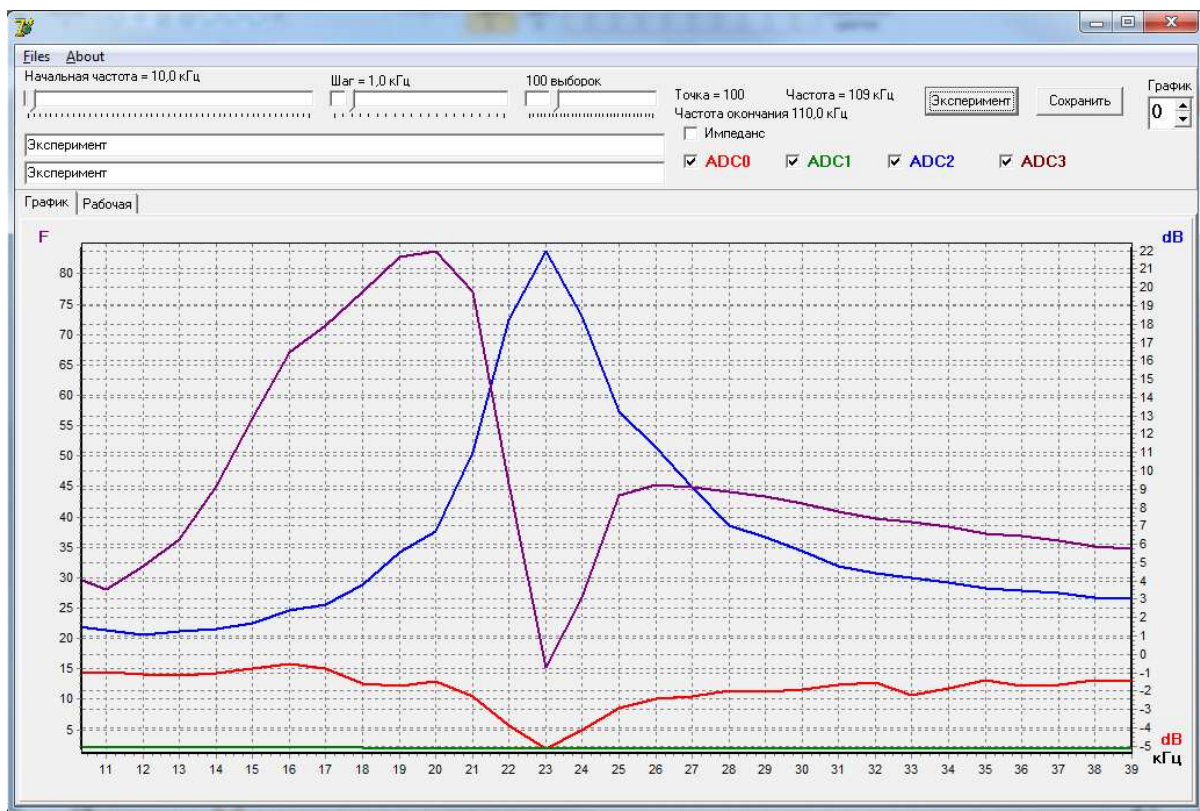


Рисунок 20 - Развернутый график области параллельного резонанса

Построение АЧХ, ФЧХ, и сопротивления от частоты для индуктивности 480 мкГн на рисунке 21.



Рисунок 21 - Построение АЧХ, ФЧХ, и сопротивления от частоты

Графики АЧХ, ФЧХ и сопротивления относительно частоты показывают адекватное изменение параметров индуктивности в зависимости от частоты.

Эксперимент №3, построение АЧХ, ФЧХ и график изменения сопротивления от частоты для конденсатора емкостью 0.1 микрофарада. На рисунке 22. Выводы конденсатор не очень хороший, на частоте 315 кГц он утратил свои емкостные свойства и работает как индуктивность.

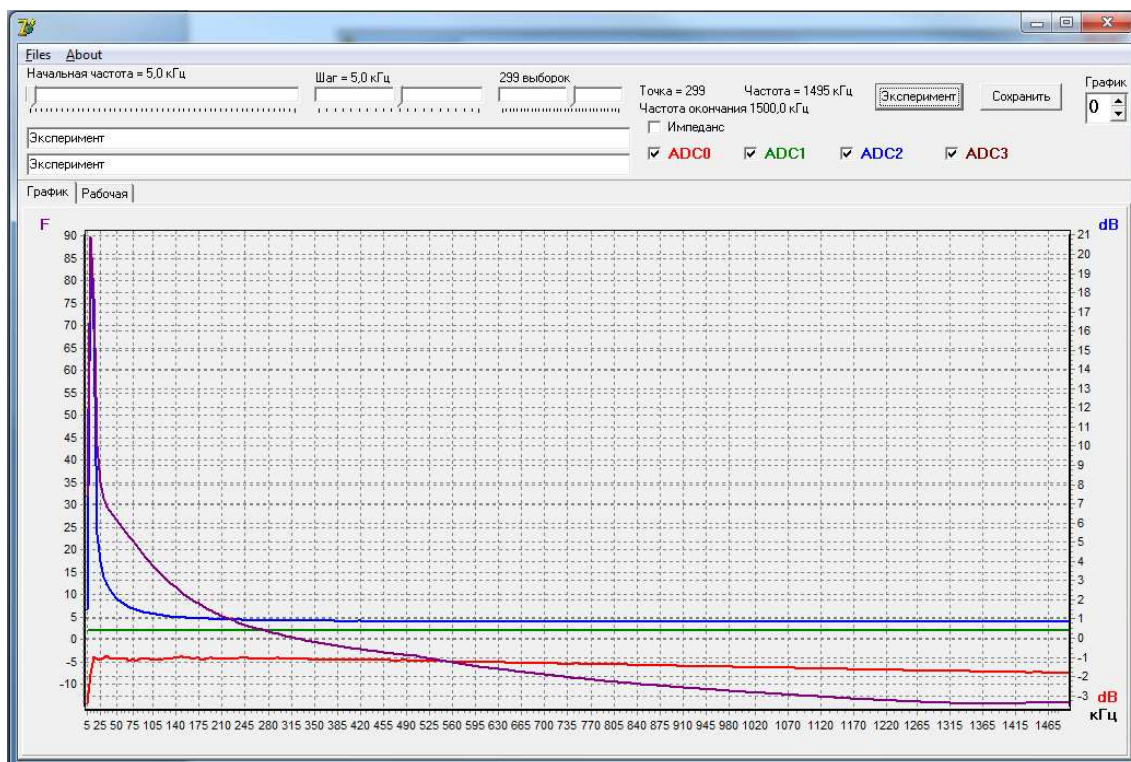


Рисунок 22 - построение АЧХ, ФЧХ и график изменения сопротивления от частоты

Эксперимент №4. Исследование последовательного колебательного контура. На рисунке 23. Обзорный график показывает большое сходство с графиками одиночной индуктивности.

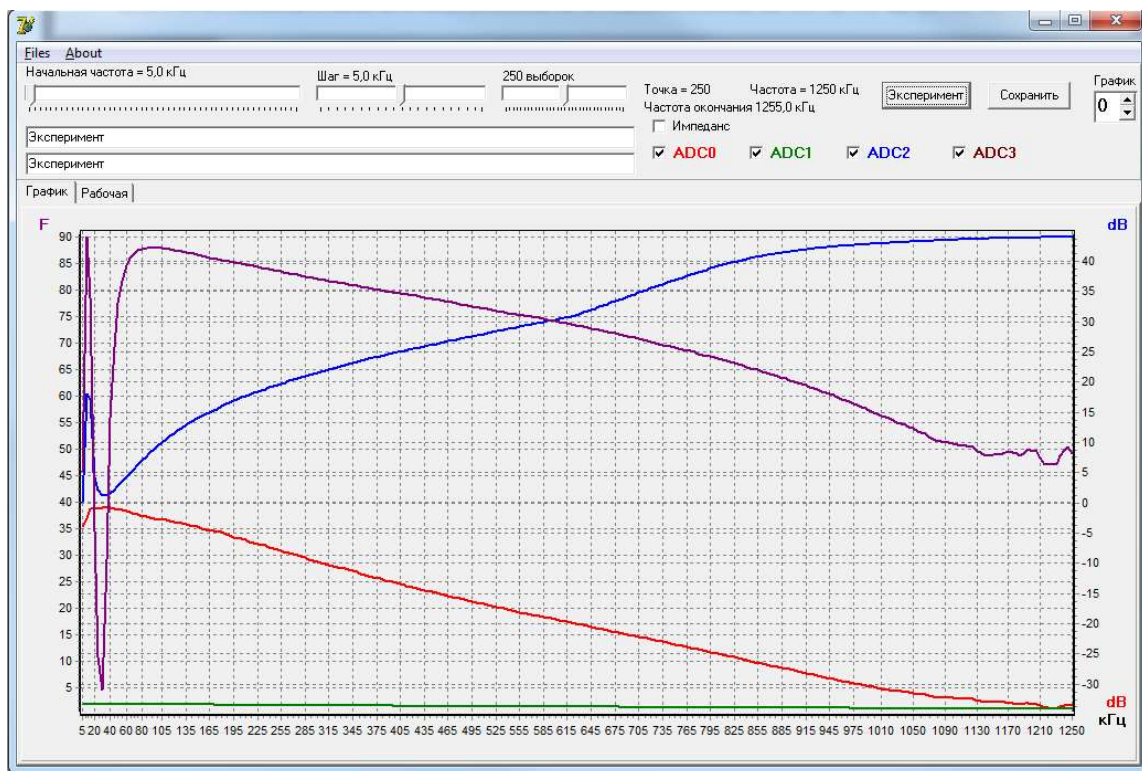


Рисунок 23 - Исследование последовательного колебательного контура

Построим график начала в диапазоне 5 кГц 100 кГц на рисунке 24.

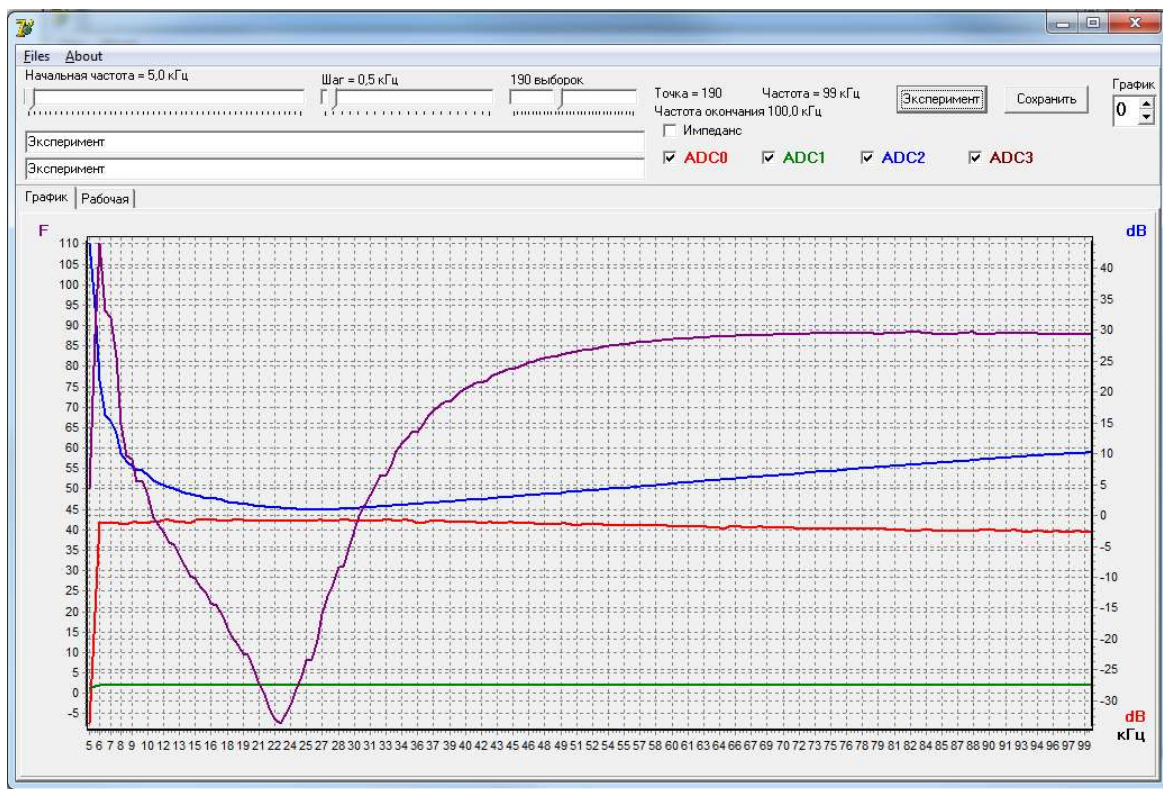


Рисунок 24 - График начала в диапазоне 5 кГц 100 кГц

Выводы: при измерении скин-эффекта изменения активного сопротивления образца в следствии 'выталкивания' то есть уменьшения площади по которой протекает ток, может оказывать влияние индуктивная и емкостная составляющие. Из графика видно, что последовательный резонанс, образованный индуктивностью и конденсатором оказывает сильное влияние на ФЧХ, АЧХ и график сопротивления практически не ощущают последовательный резонанс. Таким образом, метод измерения позволяет строить график изменения сопротивления в зависимости от частоты, однозначно определяя возникновение последовательного резонанса, позволяя исключить точки резонанса из построения графика, и тем самым получить чистую картину скин-эффекта.

Для полноценного построения графика скин-эффекта необходимо расширить диапазон генерации частоты опросного сигнала как минимум до 100 мегаГерц. Сейчас установка генерирует синусоидальные сигналы в диапазоне 1 Герц – 1 мегаГерц, дальше, до 5 мегаГерц сигнал имеет большие искажения, видимые даже простым глазом на экране осциллографа. Большое содержание гармоник в сигнале приводит к неадекватным измеренным значениям, что хорошо видно на рисунке 21, данные на частоте выше 1070 кГерц имеют неадекватные значения, нарушая ход графика, там данные становятся недостоверными.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM71	У Шэньван

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение стоимости ресурсов научного исследования: материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определение потенциального потребителя результатов исследования, определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. Разработка устава научно-технического проекта	Планирование расходы
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование этапов работы, расчет бюджета
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Подопригора И. В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM71	УШэньван		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения НИОКР.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Однако есть целый ряд нарушений кристаллической решетки материалов, в которых трещины, каверны, звуки не появляются, но физические свойства материала резко меняются, он становится хрупким. И до момента разрушения металл выглядит прочным. Для выявления данного дефекта – насыщения металла водородом предлагается использовать скин эффект.

В России существуют компании производящие подобные приборы, однако на рынке нет аналогов, использующих фазированные решетки в качестве источников и приемников ультразвуковых волн. Неразрушающий контроль любого технологического процесса, в том числе паяных соединений является

неотъемлемой частью общего технологического процесса изготовления объектов ответственного назначения. Именно поэтому в России и в мире немало организаций и компаний, которые нуждаются в подобных исследованиях.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время существует множество аналогов ультразвуковых дефектоскопов, в основном зарубежных. Рассмотрим два основных варианта технического решения:

1. УД А1214 ЭКСПЕРТ (к1);
2. УД MasterScan 350M/380M (к2);

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i, \quad (32)$$

где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

С помощью оценочной карты по таблице - 1 проведем анализ технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных приборов.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,068	4	4	4	0,4	0,4	0,4
2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.098	5	4	3	0.5	0.4	0.3
3. Помехоустойчивость	0,02	3	4	4	0.3	0.4	0.4

4. Энергоэкономичность	0.05	4	3	3	0.4	0.3	0.3
5. Надежность	0.08	4	4	4	0.4	0.4	0.4
6. Уровень шума	0.012	2	1	1	0.2	0.1	0.1
7. Безопасность	0.09	5	3	4	0.5	0.3	0.4
8. Потребность в ресурсах памяти	0.025	3	4	1	0.3	0.4	0.1
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.013	2	2	2	0.2	0.2	0.2
10. Простота эксплуатации	0.155	5	3	3	0.5	0.3	0.3
11. Качество интеллектуального интерфейса	0.021	3	1	2	0.3	0.1	0.2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.063	4	4	2	0.4	0.4	0.2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.079	5	4	5	0.5	0.4	0.5
2. Уровень проникновения на рынок	0.018	2	4	3	0.2	0.4	0.3
3. Цена	0.2	5	1	1	0.5	0.1	0.1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.003	1	2	2	0.1	0.2	0.2
5. Послепродажное обслуживание	0	1	2	2	0.1	0.2	0.2
6. Финансирование научной разработки	0.005	2	4	4	0.2	0.4	0.4
7. Срок выхода на рынок	0	1	3	3	0.1	0.3	0.3
8. Наличие сертификации разработки	0	1	3	3	0.1	0.3	0.3
Итого	1	62	60	56	6.2	6	5.6

Анализ технических решений показал, что данная разработка имеет более высокую конкурентоспособность, по сравнению с уже существующими техническими решениями.

4.3 SWOT - анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

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

1. Сильные стороны: Главное преимущество перед конкурентами это низкая стоимость готового прибора (до 5 тыс. руб.). Также легкость в использовании, не нужно обладать специальными знаниями или подготовкой для его эксплуатации.

2. Слабые стороны: За счет использования недорогих составляющих для данного прибора, снизилась его длительность беззатратной эксплуатации (до 1 года). По истечению данного срока, появится необходимость калибровки и ремонта данного уровнемера, что приведет к дополнительным материальным затратам.

Возможное решение - использование чуть дорогих элементов для изготовления, но чтобы стоимость прибора оставалась ниже, чем у конкурентов. Также не использовать прибор в режиме непрерывного измерения, чтобы продлить срок эксплуатации.

3. Возможности: Контроль и измерения уровня нефтепродуктов останется актуальным в ближайшем будущем, поэтому спрос на данную разработку будет увеличиваться. Пока использование приборов отечественного производства не пользуется особой популярностью, но с тенденцией повышения цен на импортные уровнемеры, потребность в недорогом приборе тоже возрастет.

4. Угроза: Угрозой является то, что несмотря на низкую стоимость, данная разработка не будет востребована, т.к. у конкурентов есть своя клиентская база, которые заинтересованы в их приборах и уверены в качестве продукции.

Таблица 5 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научноисследовательского проекта:	Слабые стороны научноисследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Простота и удобство в эксплуатации. С5. Мобильность разработки.	Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки. Сл2. Присутствие дополнительных затрат при эксплуатации. Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования. Сл4. Небольшой срок эксплуатации. Сл5. Использование недорогих составляющих прибора.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований. В5. Актуальность разработки в будущем.		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Ограничения на экспорт технологии. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это

соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильным сторонам возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта (возможности)

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	-	-
	B2	+	-	+	-	+
	B3	+	-	+	-	+
	B4	+	+	-	+	-
	B5	+	-	+	-	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	+	-	-	-	-
	B4	-	+	-	-	-
	B5	-	-	-	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, и слабых сторон и возможностей. Таким образом, коррелирующие сильные стороны и возможности: B1C1C2, B4C1C2C4, B5C1C3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, возможности описываем следующим образом: B2B3C1C3C5.

Сильно коррелирующие слабые стороны и возможности:
B2B4Cл1Cл3Cл4Cл5.

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта (угрозы)

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	+	+	+
	У2	+	-	+	+	-
	У3	-	-	+	-	-
	У4	-	-	+	-	-
	У5	-	-	+	-	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-	+
	У3	+	+	-	-	+
	У4	-	-	+	-	+
	У5	+	-	-	-	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и угроз, и слабых сторон и угроз.

Таким образом, сильно коррелирующие сильные стороны и угрозы: У1С2С3С4С5, У2С1С3С4, У5С3С5. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В случае, когда две угрозы сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, угрозы описываем следующим образом: У3У4С3. Сильно коррелирующие слабые стороны и угрозы: У2У4Сл1Сл2Сл4. В рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа (Таблица 8).

Таблица 8 –SWOT – анализ

	Сильные стороны научноисследовательского проекта:	Слабые стороны научноисследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Простота и удобство в эксплуатации.	Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки. Сл2. Присутствие дополнительных затрат при эксплуатации. Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования. Сл4. Небольшой срок эксплуатации.

	C5. Мобильность разработки.	Сл5. Использование недорогих составляющих прибора.
Возможности: B1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. B2. Повышение стоимости конкурентных разработок. B3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. B4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований. B5. Актуальность разработки в будущем.	C1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. C3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. C5. Мобильность разработки. B2. Повышение стоимости конкурентных разработок. B3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки. Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования. Сл4. Небольшой срок эксплуатации. Сл5. Использование недорогих составляющих прибора. B2. Повышение стоимости конкурентных разработок. B4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Ограничения на экспорт технологии. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	C3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. У3. Ограничения на экспорт технологии. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки. Сл2. Присутствие дополнительных затрат при эксплуатации. Сл4. Небольшой срок эксплуатации. У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства.

4.4 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (Таблица 9).

Таблица 9 – Календарный план проекта

№	Название	Т, кален.д.	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания	45	15,09,2017	30,10,2017	Студент Руководитель
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	55	30,10,2017	25,12,2017	Студент
3	Выбор направления исследований	19	25,12,2017	13,01,2018	Студент

4	Календарное планирование работ	43	13,01,2018	25,02,2018	Студент Руководитель
5	Изучение литературы по теме	95	25,02,2018	28,05,2018	Студент
6	Разработка принципиальной схемы	148	28,05,2018	03,11,2018	Студент Руководитель
7	Подбор элементной базы	52	03,11,2018	25,12,2018	Студент
8	Сборка экспериментальной разработки	30	25,12,2018	25,01,2019	Студент
9	Экспериментальные исследования	41	25,01,2019	06,03,2019	Студент
10	Изучение результатов проведенного исследования	38	06,03,2019	14,04,2019	Студент
11	Заключение	31	14,04,2019	15,05,2019	Студент

4.4.1 Диаграмма Ганта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 10 с разбивкой по годам с 2017 – 2019 г. и месяцам (19 месяцев) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работ. В таблице 10 приведены календарный план-график проведения диссертации по теме.

[illegible]

- Студент

руководитель

4.5 Бюджет научного исследования

4.5.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Таблица 11 - Сырье, материалы и покупные изделия

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Диоды	1N4148	10	2	20
	1N4937	10	2	20
Конденсаторы керамические выводные	K10-17Б-М47	30	8	240
Переменные резисторы	СПЗ-4АМ	1	50	50
Подстрочные резисторы	СП5-2ВБ	2	30	60
Транзисторы	КТ361Б	1	2	2
Провод монтажный	МГШВ	3	5	15
Плата монтажная	15x8 см.	1	500	500
Соединительные провода	20 см.	40	3.5	140
Всего за материалы				1047
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				31.41
Итого:				1078.41

4.5.2 Специальное оборудование для экспериментальных работ

В данной пункте включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ.

При приобретении специального оборудования учтены затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования, сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Монтаж и доставка (15%)	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Микросхема AD8302	1	500	75	575
2	Микросхема AD8307	1	550	82.5	632.5
3	Микроконтроллер ATmega16	1	450	67.5	517.5
4	Генератор DDS	1	300	45	345
Итого:					2070

4.5.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по теме.

Величина расходов по заработной плате определена исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 13.

Таблица 13 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнитель и по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс.руб.
1	Составление и утверждение задания	Студент, руководитель	45	3216 650	144720 29250
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент	55	650	35750

3	Выбор направления исследований	Студент	19	650	12350
4	Календарное планирование работ	Студент, руководитель	43	3216 650	138288 27950
5	Изучение литературы по теме	Студент	95	650	61750
6	Разработка принципиальной схемы	Студент	148	650	96200
7	Подбор элементной базы	Студент	52	650	33800
8	Сборка экспериментальной разработки	Студент	30	650	19500
9	Экспериментальные исследования	Студент	41	650	26650
10	Изучение результатов проведенного исследования	Студент	38	650	24700
11	Заключение	Студент	31	650	20150
Итого:					671,058

Этот пункт включает основную заработную плату научного руководителя и студента, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$Сзп = Зосн + Здоп, \quad (33)$$

где: Зосн – основная заработная плата;

Здоп – дополнительная заработная плата (12-20 % от Зосн).

Максимальная основная заработная плата за 2 года магистратуры: руководителя (доцент) равна примерно 767980,8 рублей, а студента 170193,6 рублей.

Основная заработная плата (Зосн) руководителя (студента) рассчитывается по формуле:

$$Зосн = Здн * Траб, \quad (34)$$

где Зосн – основная заработная плата одного работника;

Траб – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (табл.11);

Здн – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = З_{м} * М / F_{д}, \quad (35)$$

где Зм – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

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

Fд – действительный годовой фонд рабочего времени наудотехнического персонала, раб.дн. (таблица 14).

Таблица 14 – Баланс рабочего времени в течении магистратуры

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	730	730
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	236	236
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	90	50
Действительный годовой фонд рабочего времени	404	444

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{м} = З_{б} * (1 + k_{пр} + k_{д}) * k_{р}, \quad (36)$$

где Зб – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

кпр – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Зб);

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

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

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	кпр	кд	кр	Зм, руб.	Здн, руб.	Тр, раб.дн	Зосн, руб.
Руководитель	24000	0,3	0,5	1,3	56160	3216	404	1299264
Студент	6000	0,3	0,2	1,3	11700	636	444	282384

4.5.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

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

$$З_{доп} = k_{доп} * З_{осн}, \quad (37)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $З_{осн}$ – основная заработная плата работника, руб.

Таблица 16 – Дополнительная заработная плата

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб	1299,264	282,384
Коэффициент дополнительной платы	0,1	

Дополнительная зарплата, тыс. руб	129.926	28.238
Итого Здоп, тыс. руб.	158.164	

Таблица – 17 Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб	1299,264	282,384
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	129,926	28,238
Итого (Зосн + Здоп), тыс. руб.	1429,19	310,622
Итого по статье Сзп, тыс. руб.	1739,812	

4.5.5 Отчисления на социальные нужды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Свнеб = kвнеб * (Зосн + Здоп), \quad (38)$$

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

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1299,264	282,384
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	129,926	28,238
Итого (Зосн + Здоп), тыс. руб.	1429,19	310,622
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (квнеб)	28%	
Величина отчислений	400,173	86,974
Итого Свнеб, тыс. руб.	487,147	

4.5.6 Научные и производственные командировки

В этот пункт включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Таблица 19 – Расходы на командировки

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб	1299,264	282,384
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	129,926	28,238

Итого (Зосн + Здоп), тыс. руб.	1429,19	310,622
Коэффициент расходов	0,10	
Величина расходов на командировки, тыс. руб.	142,919	31,062
Итого на командировки, тыс. руб.	173,981	

4.5.7 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

Таблица 20 – Расходы на услуги сторонних организаций

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб	1299,264	282,384
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	129,926	28,238
Итого (Зосн + Здоп), тыс. руб.	1429,19	310,622
Коэффициент расходов на интернет	0,10	
Величина расходов, тыс. руб.	142,919	31,062
Итого на интернет, тыс. руб.	173,981	

4.5.8 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (39)$$

где кнр – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов - 16%.

Таблица 21 – Накладные расходы

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб	1299,264	282,384
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	129,926	28,238
Итого (Зосн + Здоп), тыс. руб.	1429,19	310,622
Коэффициент накладных расходов	0,16	
Величина накладных расходов, тыс. руб.	228,67	49,699
Итого на накладные расходы, тыс. руб.	278,369	

4.5.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат НТИ за период магистратуры

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1,078	Пункт 4.5.1
2. Затраты на спецоборудование для научных работ	2,070	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	1581,648	Пункт 4.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	158,164	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	487,147	Пункт 4.5.5
6. Затраты на командировки	173,981	Пункт 4.5.6
7. Оплата работы других организаций	173,981	Пункт 4.5.7
8. Накладные расходы	278,369	Пункт 4.5.8
7. Бюджет затрат НТИ	2840,711	Пункт 4.5.9

4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 19). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (40)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; $\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (41)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i-го параметра; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 23 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0.1	4	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.15	3	4	4
3. Помехоустойчивость	0.15	3	5	3
4. Энергосбережение	0.2	5	3	3
5. Надежность	0.25	4	4	4
6. Материалоемкость	0.15	4	4	4
ИТОГО	1	3.9	3.85	3.65

Из таблицы 23 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов.

