

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка многоканального вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб

УДК 620.179.147.014.4.05:622.24.053

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Стряпчев Кирилл Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОЭИ	Баранов П. Ф.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор	Алхимов Ю. В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Верховская М. В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП ТПУ	Сечин А. И.	д.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭИ	Кулагин А. Е.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА
СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ Электроника интернета вещей

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)–1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)–2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)–3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)–4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)–5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)–6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)–1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора
ОПК(У)–2	Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы
ОПК(У)–3	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач
ОПК(У)–4	Способен разрабатывать и применять специализированное программно–математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач
Профессиональные компетенции	
ПК(У)–1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач
ПК(У)–2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию
ПК(У)–3	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно–измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени
ПК(У)–4	Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
ПК(У)–5	Способен делать научно–обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения
ПК(У)–6	Способен анализировать состояние научно–технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников
ПК(У)–7	Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального

	назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
ПК(У)–8	Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований
ПК(У)–9	Способен разрабатывать проектно–конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями
ПК(У)–10	Способен разрабатывать программные и аппаратные средства передачи цифровых данных
ПК(У)–11	Способен организовывать работу коллективов исполнителей проводить технико–экономический и функционально–стоимостной анализ рыночной эффективности создаваемого продукта
ПК(У)–12	Способен проводить лабораторные и практические занятия со студентами бакалавриата
ПК(У)–13	Способен овладевать навыками разработки учебно–методических материалов для студентов по отдельным видам учебных занятий
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)–1	Способен проектировать аппаратные и программные средства для решений на основе интернета–вещей

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки (специальность) 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (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
1AM01	Стряпчеву Кириллу Андреевичу

Тема работы:

Разработка многоканального вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

*(наименование объекта исследования или проектирования;
 производительность или нагрузка; режим работы
 (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид
 сырья или материал изделия; требования к продукту,
 изделию или процессу; особые требования к особенностям
 функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в
 плане безопасности эксплуатации, влияния на
 окружающую среду, энергозатратам; экономический
 анализ и т. д.).*

Легкосплавная бурильная труба, 147 мм,
 длиной 12 м. Одноканальный вихретоковый
 толщиномер, вихретоковый преобразователь,
 теоретическая база принципа работы
 одноканальной системы.

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>	Изучить принцип работы вихретокового толщиномера. Проработать состав и конструкцию многоканальной установки. Проведение ОКР, проектирование основных узлов блока обработки информации с учетом проведенных экспериментов. Сборка опытного образца, проведение испытаний.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема генератора Схема усилителя мощности

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН, к.э.н., Верховская М. В.
Социальная ответственность	Профессор ООД ШБИП ТПУ, д.т.н., Сечин А. И.
Английский язык	Доцент ОИЯ, к.п.н., Кобзева Н. А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Баранов П. Ф.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ01	Стряпчев Кирилл Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 133 с. 49 рис., 24 табл., 23 источника, 5 прил.

Ключевые слова: вихревые токи, толщиномер, дефектоскопия, неразрушающий контроль, ЛБТ, трубы, бурение, алюминиевые трубы, вихретоковые методы.

Объектом исследования является многоканальный вихретоковый толщиномер легкосплавных бурильных труб.

Цель работы – создание образца многоканального вихретокового толщиномера (ВТ) для использования в полевых условиях и определения годности труб путём измерения толщины стенки по всей рабочей поверхности трубы, выявление трещин и локальных дефектов.

В процессе работы был изучен прототип одноканального вихретокового толщиномера [1] [2], который был принят за основу в разработке многоканального ВТ. В ходе анализа и полученных данных работы прототипа были сделаны выводы о необходимости модернизации основных блоков.

В результате работы была улучшена схемотехника основных блоков установки многоканального ВТ, повышена стабильность и точность получения и обработки информации с вихретоковых преобразователей (ВТП).

Степень внедрения: установка планируется использоваться для выполнения НК ЛБТ компанией ООО «НПК Интроскопия».

Область применения: неразрушающий контроль и отбраковка ЛБТ в полевых условиях на нефтяных и газовых месторождениях.

Значимость работы: создание конкурентоспособной установки на отечественном рынке, импортозамещение.

В будущем планируется продолжить улучшение установки, улучшить программное обеспечение и вывести установку на мелкосерийное производство.

Определения, обозначения, сокращения

ЛБТ – легкосплавная бурильная труба

СБТ – стальная бурильная труба

ВП или ВТП – вихретоковый преобразователь

ВТ – вихретоковый толщиномер

ПК – персональный компьютер

АЦП – аналого–цифровой преобразователь

НК – неразрушающий контроль

БР – буровой раствор

БК – бурильная колонна

ЭДС – электродвижущая сила

ОК – объект контроля

ВЧ – высокая частота

НЧ – низкая частота

Оглавление

Реферат	6
Определения, обозначения, сокращения	7
Введение.....	12
1 Обзор литературы	14
1.1 Легкосплавная бурильная труба	14
1.2 Одноканальный вихретоковый толщиномер	15
1.3 Принцип действия вихретокового толщиномера	15
1.4 Проблемы при измерении толщины ЛБТ	20
1.5 Вихретоковый преобразователь	20
1.5.1 Расчет L и R обмоток.....	20
1.5.2 Расчет взаимной индуктивности	23
1.5.3 Расчет сигнала на обмотках	24
1.6 Техническое задание.....	25
2 Объект и методы исследования	27
2.1 Схема многоканальной ВТ установки	27
2.2 Анализ установки.....	27
2.2.1 Зона контроля	27
2.2.2 Температура.....	28
2.2.3 Схемотехника блока измерения	29
2.2.4 Кабель.....	30
2.3 Выводы.....	30
3 Выбор и обоснование схем установки	31
3.1 Общая структурная схема многоканального ВТ	31

3.2	Задающий генератор	32
3.2.1	Цифровой генератор синусоидального сигнала	32
3.2.2	Выбор и обоснование схемы.....	32
3.2.3	Структурная схема.....	34
3.2.4	Моделирование схемы.....	36
3.2.5	Принципиальная схема.....	37
3.3	Усилитель мощности	38
3.3.1	Выбор и обоснование схемы.....	38
3.3.2	Структурная схема.....	38
3.3.3	Моделирование ВТП	39
3.3.4	Принципиальная схема.....	41
3.4	Блок обработки информации	41
3.4.1	Выбор и обоснование схемы.....	41
3.4.2	Структурная схема.....	42
3.4.3	Моделирование схемы.....	43
4	Результаты разработки	47
4.1	Макет ВТ	47
4.1.1	Генератор	47
4.1.2	Усилитель мощности	47
4.1.3	Формирователь витой пары	48
4.1.4	САФОС	49
4.2	Вспомогательная оснастка	49
4.3	Изготовление ВТП	51
4.4	Измерительная головка	53
4.4.1	Четырехканальная каретка.....	53

4.4.2 Держатели ВТП	53
4.5 Испытания на образце	54
5 Финансовый менеджмент	57
5.1 Предпроектный анализ	57
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений	58
5.1.3 SWOT–анализ	61
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	65
5.2 Инициация проекта	67
5.2.1 Цели и результат проекта	67
5.2.2 Организационная структура проекта	68
5.3 Планирование управления научно–техническим проектом	69
5.3.1 Контрольные события проекта	69
5.3.2 План проекта	69
5.3.3 Бюджет научно–технического исследования	74
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	81
5.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования	81
6 Социальная ответственность	87
Введение	87
6.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности	87
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	87
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ..	88
6.2 Производственная безопасность	89
6.2.1 Анализ электрической безопасности рабочей зоны	90

6.2.2 Анализ освещенности рабочей зоны.....	91
6.2.3 Анализ показателей микроклимата.....	95
6.2.3 Анализ повышенной температуры поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев	96
6.3 Экологическая безопасность.....	97
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	99
Вывод.....	100
Заключение	101
Список использованных источников	103
Приложение А	106
1 Literature review	107
1.1 Light–alloy drill pipe.....	107
1.2 Single channel eddy current thickness gauge	108
1.3 Principle of operation of the eddy current thickness gauge.....	108
1.4 Problems when measuring LDP thickness.....	113
1.5 Eddy current converter.....	113
1.5.1 Calculation of L and R windings	113
1.5.2 Mutual Inductance Calculation.....	117
1.5.3 Calculation of the signal on the windings.....	118
1.6 Technical task.....	119
Приложение Б	120
Приложение В.....	121
Приложение Г	122
Приложение Д.....	125

Введение

Неразрушающий контроль получил широкое распространение во многих отраслях, в том числе нефтегазодобывающей: при разведочном и промышленном бурении скважин. Для достижения высоких технико-экономических показателей, повышения безопасности работ необходимо улучшать методы контроля бурового оборудования и измерительные приборы. Большой проблемой является контроль легкосплавных бурильных труб (ЛБТ) согласно ГОСТ 23786-79 [3].

Одним из главных преимуществ ЛБТ при бурении является: малый удельный вес, высокий показатель удельной прочности, высокое облегчение в БР, виброгасящие свойства, немагнитные свойства алюминия, коррозионная стойкость к агрессивным средам, низкое значение модуля продольной упругости и модуля сдвига, лёгкая разбуриваемость труб [4].

В данный момент, ультразвуковой и вихретоковый методы НК ЛБТ являются одними из наиболее эффективных методов контроля, и поэтому данные методы получили широкое распространение при контроле ЛБТ.

По нормативным документам [5] [6] [7] [8], при контроле толщины стенки у ЛБТ применяется акустический метод, который имеет такие недостатки как: низкая производительность (скорость) контроля и высокая трудоемкость в полевых условиях. Зачастую ультразвукового контроля бывает недостаточно для получения полной информации о всех дефектах трубы. Вихретоковый метод имеет ряд преимуществ: высокая производительность, покрытие всей площади трубы (за счет многоканальности системы), бесконтактные датчики (воздушный зазор), против иммерсионных ультразвуковых датчиков.

На теле ЛБТ и в местах её соединений неизбежно появляются дефекты при эксплуатации. При бурении скважин бурильные трубы подвержены серьезным механическим и химическим воздействиям, в результате чего – появляются локальные утонения, снижение толщины всей трубы, коррозионные повреждения, и иные дефекты, которые могут привести к авариям.

Несвоевременное обнаружение дефектов может привести к обрушению БК, влекущее за собой аварийные ситуации, опасность для людей и окружающей среды, экономические потери – возможность потерять весь комплект глубоко под землей.

Существует большое множество толщиномеров, однако мобильных систем, приспособленных под полевые и оперативные работы существенно меньше, особенно на внутреннем рынке [9].

Разработка такого рода оборудования необходима как для решения внутренних задач компании ООО «НПК Интроскопия» [10], предоставляющей услуги по неразрушающему контролю, так и для создания конкурентоспособного оборудования на внутреннем рынке, не уступающего по техническим характеристикам зарубежным аналогам [9].

Область применения многоканального толщиномера: контроль ЛБТ как на заводе изготовителе, так и непосредственно «в поле», во время эксплуатации комплектов буровых труб.

Актуальность разработки мобильной системы вихретокового многоканального толщиномера, адаптированной под полевые работы, вызвана развитием нефтедобывающей отрасли, ростом спроса на качественный контроль ЛБТ для безаварийной и непрерывной работы.

1 Обзор литературы

1.1 Легкосплавная бурильная труба

Объектом контроля является ЛБТ диаметром 147 (+2; -1) мм, номинальными длинами 9 и 12 метров.

- Толщина стенки основного тела: 11($\pm 1,1$), 13($\pm 1,3$) и 15($\pm 1,5$) мм.
- Вес одной трубы для сплава Д16Т: от 230 до 310 кг (в зависимости от толщины стенки и исполнения трубы).

Более подробно о размерах и допусках представлено в таблице приложения Б и нормативных документах по ЛБТ [6] [7] [8].

ЛБТ часто применяется в комбинированной БК с СБТ при бурении достаточно протяженных горизонтальных участков. Снижается общий вес колонны, значительно уменьшаются силы трения на горизонтальном участке, тем самым снижая общие потери и позволяя передать более эффективно осевую нагрузку на долото.

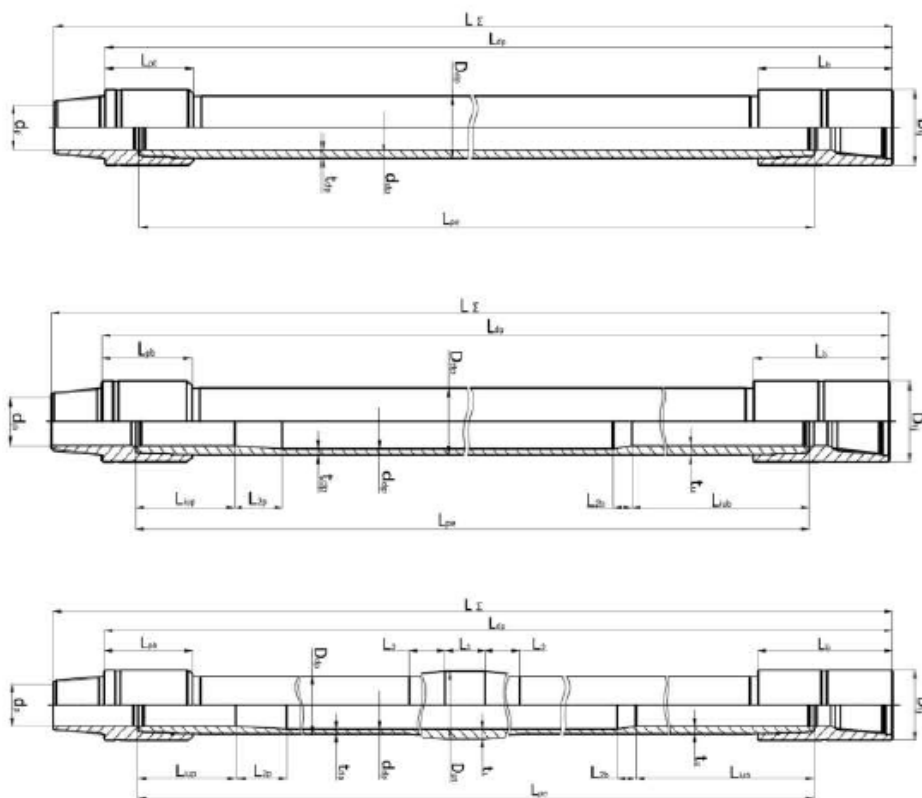


Рисунок 1 – Легкосплавная бурильная труба, виды исполнений

Контроль трубы предполагается проводить по всей длине «от замка до замка». Это существенно ускорит процесс контроля комплектов ЛБТ. Контроль замков проводится с применением акустического контроля.

1.2 Одноканальный вихретоковый толщиномер

В качестве основы, на базе которой будет начата разработка многоканальной системы ВТ, была взята диссертация В. Ю. Белянкова [2] «Вихретоковый контроль толщины стенки легкосплавных бурильных труб», где автор произвел разработку модели взаимодействия магнитного поля и накладного ВТП на ЛБТ, провел исследование влияющих факторов, а также проведены эксперименты с полученной моделью.

В последующем, модель и методика обработки сигнала была использована автором для создания прототипа одноканального ВТ для проверки, который показал достоверность теоретических данных на практике. Также автором были созданы контрольные образцы, методики для рабочей настройки и калибровки, первичной настройки, которые после были реализованы в одноканальном ВТ.

Данная работа будет хорошим фундаментом для проведения ОКР и разработки многоканального ВТ.

1.3 Принцип действия вихретокового толщиномера

ВТП состоит из двух обмоток:

- обмотка возбуждения (далее ОВ);
- обмотка измерения (далее ОИ);

Ток с генератора синусоидальной формы подается на ОВ, которая создает переменное электромагнитное поле и возбуждает вихревые токи в электропроводящем ОК. Вихревые токи создают поле, которое воздействует на ОИ в ВТП, создавая в ней ЭДС.

Напряжение ОИ имеет две составляющие:

$$\dot{U} = \dot{U}_0 + \dot{U}_{\text{вн}} \quad (1.1)$$

где $\dot{U}_0$ — это начальное напряжение, которое наводится в ОИ при отсутствии ОК за счет индуктивной связи между ОВ и ОИ ВТП;

$\dot{U}_{\text{вн}}$ — это вносимое напряжение, которое наводится вихревыми токами в ОК.

Каждое напряжение имеет комплексные составляющие.

Напряжение $\dot{U}_0$ зависит от нескольких параметров, таких как размер самого ВТП и частоты тока возбуждения в нем. Напряжение $\dot{U}_{\text{вн}}$ определяется параметрами ОК и взаимным расположением ВТП относительно данного ОК.

При контроле толщины трубы напряжение $\dot{U}_0$ ВТП, в общем случае, зависит от таких параметров как:

- толщина трубы,
- зазор между ВТП и трубой,
- изменение магнитной проницаемости,
- электропроводность

Из них первый параметр – контролируемый, остальные – вторичные.

Фильтрация полезного сигнала (толщины трубы) из всего спектра является основной целью измерения.

Сигнал $\dot{U}_{\text{вн}}$ поступает на САФОС, после обработки которым на вход АЦП и затем – на ПК поступают значения:

- Re HF – реальная составляющая ВЧ
- Im HF – мнимая составляющая ВЧ
- Re LF – реальная составляющая НЧ
- Im LF – мнимая составляющая НЧ

Затем вычисляются параметры:

$$A_{\text{HF}} = \sqrt{(\text{Re HF})^2 + (\text{Im HF})^2}, \varphi_{\text{HF}} = \arctg\left(\frac{\text{Im HF}}{\text{Re HF}}\right), \varphi_{\text{LF}} = \arctg\left(\frac{\text{Im LF}}{\text{Re LF}}\right) \quad (1.2)$$

По значению амплитуды A_{HF} вычисляется зазор h между ВТП и объектом контроля (ЛБТ):

$$h = Kh \cdot (cg_0 + cg_1 \cdot e^{cg_2 \cdot amp} + cg_3 \cdot e^{cg_4 \cdot amp}) \quad (1.3)$$

где cg_n – постоянные коэффициенты;

$$amp = \frac{A_{HF}}{A_{HF_0}} - \text{относительная амплитуда ВЧ};$$

A_{HF_0} – амплитуда ВЧ при нулевом зазоре;

Kh – поправочный коэффициент при калибровке.

Толщина стенки, при фиксированном значении зазора h аппроксимируется кусочно–линейной функцией:

$$T = K_{LF}(h, jtx) \cdot [\varphi_{LF} + \Delta\varphi_{LF(tx)} + \Delta\varphi_{LF} + Kc \cdot \varphi_{LF}] + B_{LF}(h, jtx) \quad (1.4)$$

где $K_{LF}(h, jtx), B_{LF}(h, jtx)$ – коэффициенты, зависящие от зазора h и номера участка jtx зависимости толщины от фазы φ_{LF} ;

$\Delta\varphi_{LF}, Kc$ – коэффициенты при калибровке по двум известным значениям толщины трубы;

$\Delta\varphi_{LF(tx)}$ – фазовая поправка на изменение электропроводности трубы.

Поправка на изменение электропроводности исходит из предположения, что электропроводность меняется при изменении температуры. Кроме того, изменение электропроводности также зависит от химического состава в трубе. Предполагается, что на протяжении всей трубы химический состав меняется незначительно, чем влияние температурного фактора окружающей среды.

Зависимость фазы от температуры аппроксимируется линейной функцией:

$$\Delta\varphi_{LF(tx)} = -Kt_{LF} \cdot (tx - t_0) \quad (1.5)$$

где $Kt_{LF} = 0.03794$ – коэффициент пропорциональности;

tx – температура трубы;

t_0 – температура, при которой производится калибровка.

Температура трубы вычисляется по разности между фазами сигнала ВЧ:

- $\varphi_{HF(tx)}$ – измеренная фаза ВЧ,
- $\varphi_{HF(t_0)}$ – измеренная фаза при калибровке t_0

$$tx = t_0 - Kt_{HF} \cdot (\varphi_{HF(tx)} - \varphi_{HF(t_0)}) \quad (1.6)$$

где $Kt_{HF} = 0,0119$ – коэффициент пропорциональности.

Иными словами, производится предварительная оценка толщины трубы без учета поправки на электропроводность, а затем вычисляется ожидаемое значение фазы ВЧ $\varphi_{HF(t_0)}$ и разность фаз $\varphi_{HF(tx)} - \varphi_{HF(t_0)}$.

Учитывается изменение фазы ВЧ от зазора h и толщины трубы T , используя кусочно–линейную модель зависимости:

$$\varphi_{LF(t_0)} = T \cdot (Kk_{HF(jkx)} \cdot h + Bk_{HF(jtx)}) + (Kb_{HF(jkx)} \cdot h + Bb_{HF(jkx)}) \quad (1.7)$$

где $Kk_{HF(jkx)}, Bk_{HF(jtx)}, Kb_{HF(jkx)}, Bb_{HF(jkx)}$ – коэффициенты кусочно–линейной аппроксимации зависимости фазы ВЧ от зазора h .

Ниже представлены графики зависимостей фазового сдвига от толщины стенки трубы при различных значениях зазора для НЧ и ВЧ:

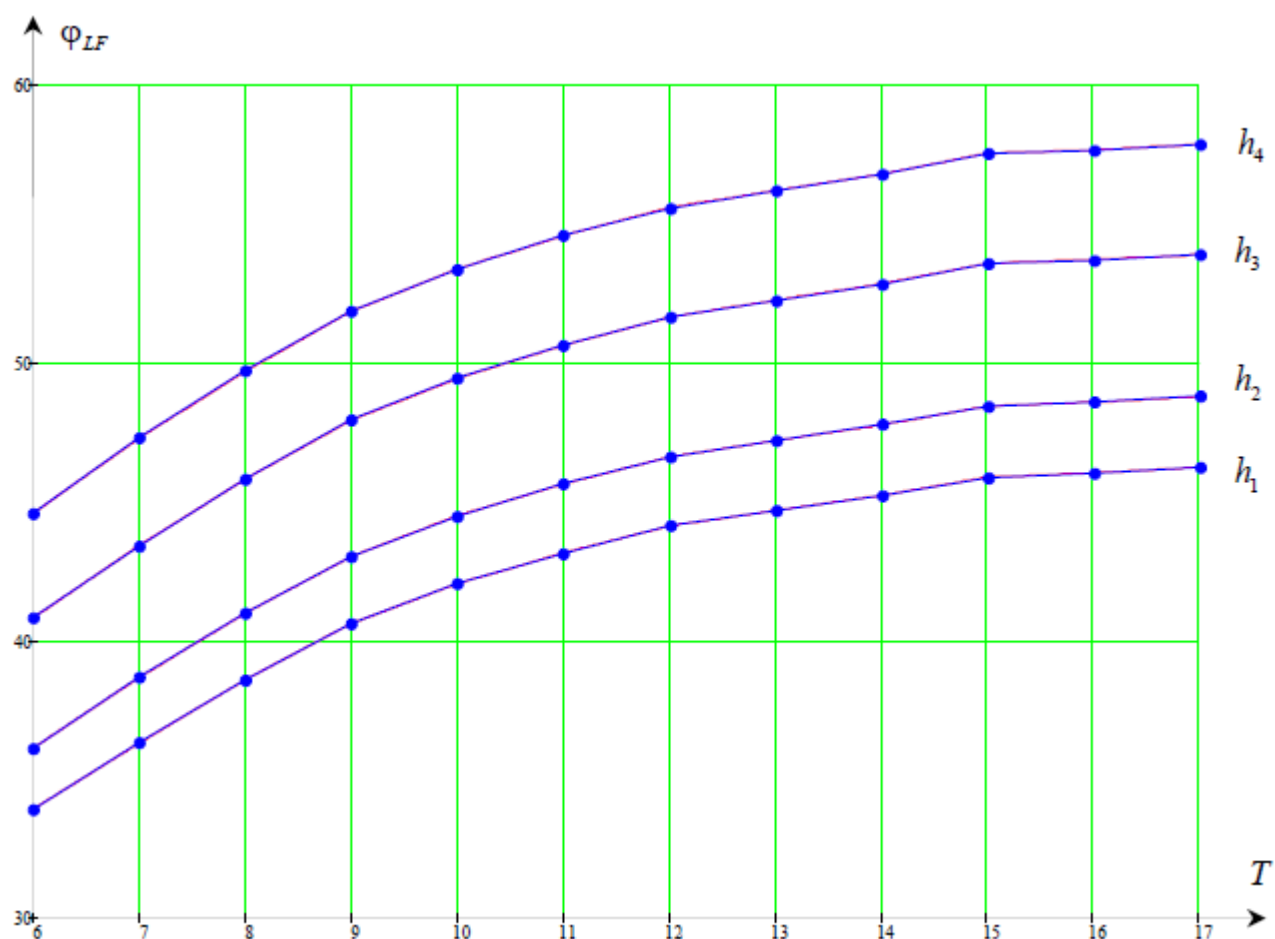


Рисунок 2 – Зависимость фазового сдвига НЧ от толщины стенки трубы при различных зазорах h

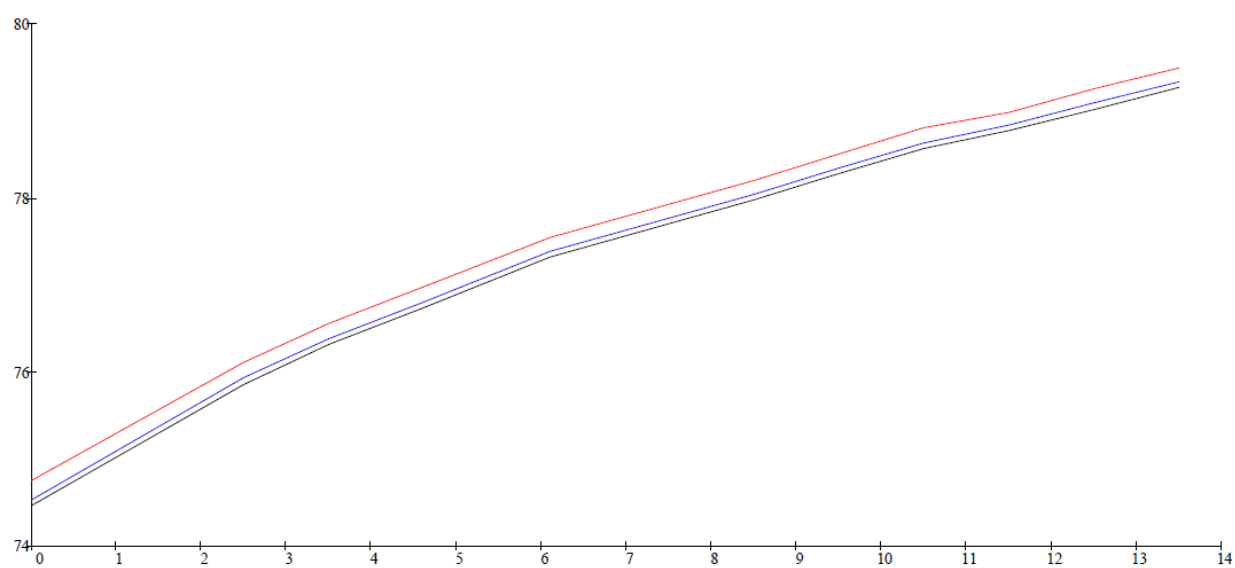


Рисунок 3 – Зависимость фазового сдвига ВЧ от толщины стенки трубы при различных зазорах h

1.4 Проблемы при измерении толщины ЛБТ

Основная проблема при проведении измерений толщины стенки с помощью накладного ВТП обусловлена возможным изменением зазора между трубой и ВТП, а также удельной электропроводностью материала трубы, которые значительно влияют на выходной сигнал с ВТП.

Предложенное автором применение многочастотного возбуждения ВТП позволило существенно сократить влияние данных параметров и показало свою эффективность на одноканальном ВТ в работе В. Ю. Белянкова [2].

1.5 Вихретоковый преобразователь

В качестве ВТП будет использован готовый датчик, диаметром 56 мм с тремя обмотками:

- ОВ – обмотка возбуждения
- ОИ – обмотка измерительная
- ОК – обмотка компенсационная

Обмотки ОИ и ОК включены встречно. Такое решение предполагает минимизировать (компенсировать) влияние ОВ на ОИ при отсутствии объекта контроля.

1.5.1 Расчет L и R обмоток

Ниже представлен рисунок каркаса для ВТП. Указаны только габаритные размеры и размеры для обмоток ОВ, ОИ и ОК.

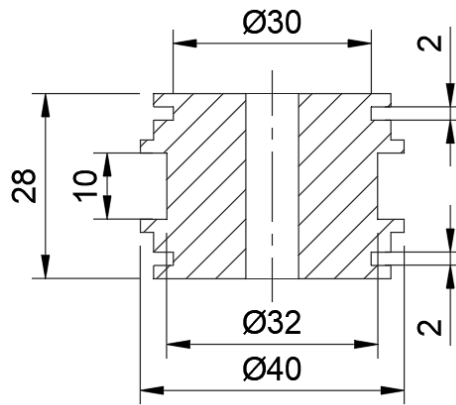


Рисунок 4 – Каркас ВТП

Таким образом, для ОВ: длина намотки 10 мм, диаметр первого слоя 32 мм. Для ОИ и ОК длина намоток 2 мм, диаметры первого слоя 30 мм.

Каркас выполнен из немагнитного материала.

Для расчета обмоток пригодится обобщенный параметр β (безразмерный):

$$\beta = R \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma} \quad (1.1)$$

где $R = \sqrt{R_{\text{возб}} \cdot R_{\text{изм}}}$ – эквивалентный радиус ВТП.

Расчет параметров ОВ, ОИ и ОК необходим для последующего моделирования.

Для обмотки возбуждения:

$$n = 600 \text{ витков}$$

$$D = 32 \text{ мм}$$

$$d = 0.24 \text{ мм}$$

$$S = 0.03142 \text{ мм}^2$$

$$l = 10 \text{ мм}$$

(1.2)

$$n_1 = \frac{l}{d} = \frac{10}{0.24} = 40 \text{ витков}$$

$$k = \frac{n}{n_1} = \frac{600}{40} = 15 \text{ слоев}$$

$$h = d \cdot k = 0.24 \cdot 15 = 3.6 \text{ мм}$$

$$R_{\text{возб}} = \frac{D + (D + h)}{2} = \frac{32 + 32 + 3.6}{2} \approx 17.8 \text{ мм}$$

Для ОИ и ОК:

$$\begin{aligned}l &= 2 \text{ мм} \\d &= 0.125 \text{ мм} \\S &= 0.00785 \text{ мм}^2 \\n &= 300 \text{ витков} \\D &= 30 \text{ мм} \\n_1 &= \frac{l}{d} = \frac{2}{0.125} = 16 \\k &= \frac{300}{16} \cong 20 \\h &= 0.125 \cdot 20 = 2.5 \text{ мм} \\R_{изм} &= \frac{D + D + h}{2} \cong 16.25 \text{ мм}\end{aligned} \tag{1.3}$$

Следовательно:

$$R = \sqrt{R_{гозо} \cdot R_{изм}} \cong 17.1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \tag{1.4}$$

Обобщенный параметр для 125 Гц:

$$\beta_{125} = 17.1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2\pi \cdot 125 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 15 \cdot 10^6} = 2.08 \tag{1.5}$$

Для 2 кГц:

$$\beta_{2000} = 8.322 \tag{1.6}$$

Расчет индуктивности и сопротивления возбуждающей обмотки:

$$\begin{aligned}l &= 10 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\h &= 3.75 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\D &= 32 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\N &= 600 \text{ витков} \\R_{0.2} &= 0.54905 \frac{\text{Ом}}{\text{м}} \\d_{cp} &= 0.03575 \text{ м} \\L &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot N^2 \cdot d \cdot \Phi(\zeta, \alpha) \\\zeta &= \frac{h}{d_{cp}} = 0.105 \\\alpha &= \frac{l}{d_{cp}} = 0.28 \\\Phi(0.105, 0.28) &= 11.7 \\R &= R_{0.2} \cdot \pi d \cdot N\end{aligned} \tag{1.7}$$

где $\Phi(0.105, 0.28)$ – значение функции, взятое из справочных данных по расчету индуктивностей [11].

Следовательно, для ОВ:

$$\begin{aligned} L_{OB} &\approx 15 \text{ мГн} \\ R_{OB} &\approx 37 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (1.8)$$

Подобным образом (1.7) вычисляется для ОИ и ОК:

$$\begin{aligned} \Phi(0.0798, 0.0613) &= 17.9 \\ L_{OI} &\approx 5,3 \text{ мГн} \\ R_{OI} &\approx 67.5 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (1.9)$$

1.5.2 Расчет взаимной индуктивности

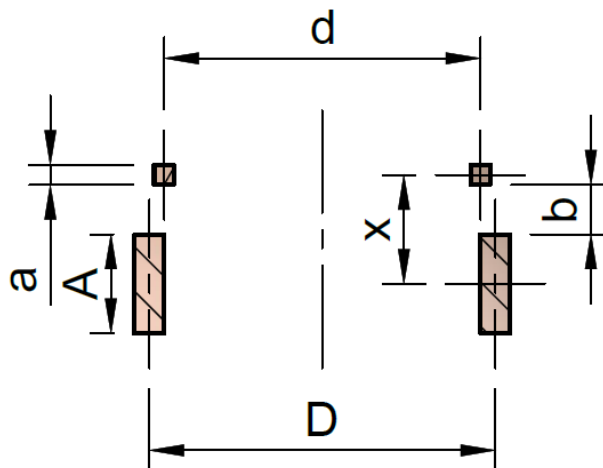


Рисунок 5 – Схема расположения обмоток ОВ и ОИ

где $d = 32.6 \text{ мм}$

$D = 35.75 \text{ мм}$

$b = 5 \text{ мм}$

$a = 2 \text{ мм}$

$A = 10 \text{ мм}$

Таким образом, диаметр эквивалентного контура для ОИ:

$$d_e = d \left(1 + \frac{a^2}{6 \cdot d^2} \right) = 32.6 \left(1 + \frac{2^2}{6 \cdot 32.6^2} \right) = 32.6 \text{ мм} \quad (1.10)$$

Диаметр эквивалентного контура для ОВ вычисляется как для ОИ (1.10):

$$D_e = 36.2 \text{ мм} \quad (1.11)$$

Взаимная индуктивность эквивалентных контуров:

$$M_e = \frac{\mu_0}{4\pi} \sqrt{R_1 \cdot R_2} \cdot F$$

$$F = f(m^2)$$

$$m^2 = \frac{(R_1 - R_2)^2 + x^2}{(R_1 + R_2)^2 + x^2}$$
(1.12)

Следовательно:

$$R_1 = \frac{d_e}{2} = 16.3 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{D_e}{2} = 17.875 \text{ мм}$$

$$x = b + \frac{a + A}{2} = 5 + \frac{2 + 10}{2} = 11 \text{ мм}$$

$$m^2 = \frac{(16.3 - 17.875)^2 + 11^2}{(16.3 + 17.875)^2 + 11^2} = 0.0958$$
(1.13)

Из справочных данных [11]:

$$F(0.096) \approx 8.515$$
(1.14)

Подставив (1.14) и (1.13) в (1.12):

$$M_e = 0.1453 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

$$M = M_e \cdot N_{OB} \cdot N_{OI} = 0.1453 \cdot 300 \cdot 600 \cdot 10^{-7} = 2.615 \text{ мГн}$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_{OB} \cdot L_{OI}}} = \frac{2.615}{\sqrt{15 \cdot 5.3}} = 0.2933$$
(1.15)

Таким образом, взаимная индуктивность между ОВ и ОИ составляет 2.615 мГн, коэффициент связи 0.293.

1.5.3 Расчет сигнала на обмотках

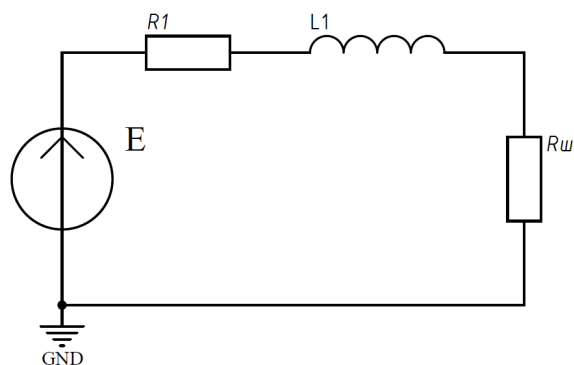


Рисунок 6 – Эквивалентная схема ВТП

На рисунке 6 представлена эквивалентная схема для ВТП,
где E – источник сигнала;

R_1 – сопротивление обмотки;

L_1 – индуктивность обмотки;

$R_{ш}$ – шунт.

Следовательно:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= \dot{I} \cdot R_{ш} \\ \dot{I} &= \frac{\dot{E}}{R_1 + R_{ш} + j2\pi f \cdot L_1} \\ \dot{U}_x &= \frac{\dot{E} \cdot R_{ш} \cdot (R_1 + R_{ш})}{(R_1 + R_{ш})^2 + \omega^2 \cdot L_1^2} - j \cdot \frac{\dot{E} \cdot R_{ш} \cdot \omega L_1}{(R_1 + R_{ш})^2 + \omega^2 \cdot L_1^2}\end{aligned}\quad (1.16)$$

Подставим в уравнение (1.16) значения для 2 кГц (1.17) и 125 Гц (1.18),
полученные ранее:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= \frac{5 \cdot 2 \cdot (36 + 2)}{(36 + 2)^2 + 188^2} - j \frac{5 \cdot 2 \cdot 188}{(36 + 2)^2 + 188^2} = 0.0103 - j0.0511 \\ |\dot{U}_x| &= \sqrt{0.0103^2 + 0.0511^2} = 0.052 \text{ В} \\ \varphi_{U_x} &= \arctg \frac{0.0511}{0.0103} = 78.6 \text{ deg}\end{aligned}\quad (1.17)$$

Аналогично для 125 Гц:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= 0.24 - j0.075 \\ |\dot{U}_x| &= 0.25 \text{ В} \\ \varphi_{U_x} &= 17.4 \text{ deg}\end{aligned}\quad (1.18)$$

1.6 Техническое задание

Основываясь на нормативных документах по ЛБТ [8] [3] [6] [5] [7],
составим техническое задание (ТЗ) для многоканального ВТ:

Таблица 1 – Технические требования к многоканальному ВТ

Напряжение питания, В	220
Контролируемая длина, м	Не менее 12
Контролируемый диаметр ЛБТ, мм	147
Диапазон толщин, мм	до 20
Рабочий диапазон температур, °С	От 0 до +50

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM01	Стряпчев Кирилл Андреевич

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– тариф на электроэнергию – 5,748 руб. за 1 кВт·ч. – з/п научного руководителя – 36800 руб. – з/п инженера – 9983 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчет инновационного потенциала НТИ	– SWOT-анализ; – оценка научного уровня исследования; – составление календарного плана проект; – определение целевого рынка и проведение его сегментирования.
2. Разработка устава научно-технического проекта	– расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы; – расчет отчислений во внебюджетные фонды; – расчет бюджета проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения НТИ
4. Определение бюджета НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.03.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Верховская Марина Витальевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Стряпчев Кирилл Андреевич		

5 Финансовый менеджмент

Целью магистерской диссертации является разработка вихретокового толщиномера для контроля алюминиевых труб.

На сегодняшний день, неразрушающий контроль получил широкое распространение во многих отраслях. С развитием техники и технологического прогресса стали появляться различные методы неразрушающего контроля. Например, ультразвуковой контроль, получивший широкое распространение в медицине как один из «самых безопасных» методов диагностики человека. Не исключением стал ультразвуковой контроль толщины материалов, например труб. В магистерской диссертации рассмотрен еще один не менее распространенный метод контроля – вихретоковый.

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть как мелкие и средние организации, так и крупные предприятия нефтегазовой промышленности.

Целью данного раздела в магистерской работе является определение перспективности и успешности научно–исследовательского проекта, а также оценка возможностей реализации проекта на практике. Для достижения данной цели необходимо:

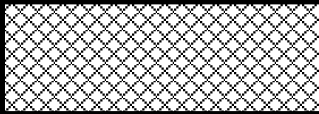
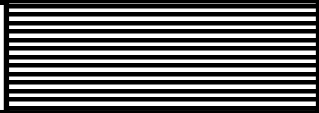
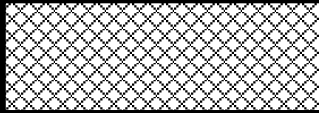
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определить ресурсосберегающую, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования [19].

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. В таблице 1 представлена карта сегментирования рынка по виду неразрушающего контроля.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

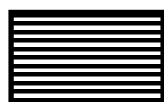
Потребитель	Вид неразрушающего контроля		
	Ультразвуковой	Электромагнитный	Вихретоковый
Черная металлургия			
Нефтегазовая промышленность			
Цветная металлургия			



– фирма А



– фирма Б



– фирма В

По приведенной карте можно увидеть, какие ниши на рынке не заняты конкурентами, а также где уровень конкуренции не высокий. Таким образом, мы видим, что на данном этапе вихретоковый метод неразрушающего контроля, в частности, толщинометрия, ориентирован на нефтегазовую промышленность. В будущем будет необходимо расширить рынок и внедрить продукцию, основанную на данном методе в отрасли металлургии.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. В ней проводилось сравнение разрабатываемого устройства с электромагнитным

толщиномером EM1401 и бесконтактным вихретоковым толщиномером SEDGE-42.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Для оценки конкурентоспособности составим таблицу с основными критериями оценки конкурентных материалов для нейроинтерфейсов.

Основные критерии оценки электродов для нейроинтерфейсов:

1. Погрешность измерения толщины – один из основных критериев, влияющий на качество прибора, чем меньше, тем лучше;
2. Диапазон измеряемых толщин для стали – обеспечивает более широкий диапазон применения;
3. Допустимый зазор между датчиком и объектом контроля – критерий, определяющий стабильную работу толщиномера;
4. Функционал – реализация в приборе системы управления, наглядного отображения результатов;
5. Удобство в эксплуатации – применение прибора в различных условиях;
6. Цена – чем дешевле будут материалы, тем доступнее будет технология;
7. Простота технологии – критерий, влияющий также на цену готового продукта;
8. Долговечность – параметр, определяемый рядом тестов на способность материала оставаться стабильным в агрессивной среде организма;

9. Экологичность – возможность переработки продукта;

В таблице 2 представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _к 1	Б _к 2	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Погрешность измерения толщины	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
2. Диапазон измеряемых толщин для стали	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3. Допустимый зазор между датчиком и объектом контроля	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
4. Функционал	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
5. Удобство в эксплуатации	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
6. Цена	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
7. Простота технологии	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
8. Долговечность	0,03	3	4	5	0,09	0,12	0,15
9. Экологичность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Итого:	1	40	33	37	4,59	3,75	3,98

Б_ф – разрабатываемое устройство;

Б_{к1} – толщиномер EM1401;

Б_{к2} – толщиномер SEDGE–42.

После проведения данного анализа можно сделать вывод, что данная разработка является конкурентоспособной по сравнению с толщиномерами, существующими на рынке. Основными конкурентными преимуществами данной разработки являются более низкая по сравнению с конкурентами цена, допустимый зазор между датчиком и погрешность измерения толщины.

Минусом конкурирующих устройств является неточности и функционал, что усложняет работу с ними.

5.1.3 SWOT–анализ

Для комплексной оценки научно–исследовательского проекта применяют SWOT–анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней и внутренней среде.

Разработанная для данного исследования матрица SWOT представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно– исследовательского проекта:	Слабые стороны научно– исследовательского проекта:
	С1. Дешевизна. С2. Большой функционал. С3. Удобство в эксплуатации. С4. Низкая погрешность измерения толщины	Сл1. Малое количество каналов. Сл2. Неполное перекрытие площади трубы. Сл3. Температурные режимы, через час работы уходит калибровка, нестабильность показаний. Сл4. Программное обеспечение, сложность вычислений, требующие оптимизации.

Продолжение таблицы 3

Возможности: В1. Выход на конечных потребителей при помощи информационных ресурсов ТПУ. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Привлечение специалистов из ТПУ для работы над проектом. В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	1. Улучшение характеристик устройства позволит увеличить спрос. Это позволит выйти на рынок толщиномеров в РФ и конкурировать с импортными продуктами. 2. Использование ресурсов университета значительно повысит экономичность и безопасность разработки.	1. Помощь в финансировании проекта и его сертификации увеличит конкурентоспособность. 2. Отсутствие финансирования заметно снизит эффективность разработки, но использование ресурсов ТПУ может устранить этот недостаток. 3. Повышение стоимости конкурентных разработок вынудит потребителей приобрести разрабатываемое устройство, не смотря на его слабые стороны.
--	--	---

Продолжение таблицы 3

Угрозы: У1. Отсутствие спроса. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования. У3. Развитая конкуренция технологий производства. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У5. Повышение стоимости компонентной базы.	1. Удобство эксплуатации, низкая стоимость разрабатываемого устройства, а также наличие большого функционала вполне способны удержать устройство на рынке даже при уменьшении спроса и при появлении новых конкурентных разработок.	1. В связи с развитием конкуренции технологий, несвоевременным финансированием, введением дополнительных государственных требований к сертификации, есть риск потери занятой ниши рынка. 2. Повышение стоимости компонентной базы негативно скажется на стоимости устройства, что можно исправить использованием уже купленных компонентов и компонентов, которые есть в лаборатории, где разрабатывается устройство.
---	--	---

Таким образом, в ходе проведения SWOT–анализа были выявлены сильные и слабые стороны научно–исследовательского проекта, а также его возможности и вероятные угрозы. Необходимо сделать упор на такие сильные стороны, как низкая цена, большой функционал и низкая погрешность измерения толщины, так как именно эти сильные стороны проекта связаны с наибольшим количеством возможностей. Что касается слабых стороны, необходимо обратить

внимание на работу с привлечением финансирования. Работа над этими недостатками позволит повысить конкурентоспособность, уменьшить влияние внешних угроз на проект.

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 4 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности и научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно–технический задел	5	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно–технического задела	4	3

Продолжение таблицы 4

Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
Определена товарная форма научно–технического задела для представления на рынок	2	2
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
Разработан бизнес–план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2

Продолжение таблицы 4

Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
Итого баллов	40	42

На основе данных, представленных в таблице 4, можно заметить, что большинство критериев не превышает трех баллов из пяти, что говорит о том, что проект находится на стадии реализации и пока не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

5.2 Инициация проекта

5.2.1 Цели и результат проекта

Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 5, цели и результат проекта – в таблице 5.

Таблица 5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон.
Предприятия нефтяной и газовой промышленности.	Обеспечение качественного контроля толщины легкосплавных бурильных труб из алюминиевого сплава.

Таблица 6 – Цели и результат проекта

Цель проекта	Разработка вихретокового толщиномера для контроля алюминиевых труб.
Ожидаемые результаты проекта	Готовое смоделированное устройство и изученные его характеристики.
Критерии приемки результата проекта	Разработанный толщиномер, имеющий преимущества перед существующими аналогами.
Требования к результату проекта	– Работоспособность устройства; – Обеспечение заявленной погрешности измерения толщины – Обеспечение заданного диапазона измеряемых толщин для стали.

В данном подразделе были определены заинтересованные стороны проекта и сформулировали цели и ожидаемый результат НТИ. Целью проекта

является разработка вихретокового толщиномера для контроля алюминиевых труб, а результатом – разработка готового смоделированного устройства и изучение его характеристик.

5.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе необходимо сформировать рабочую группу (таблица 7), определить роль каждого участника, прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 7 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы	Роль в проекте	Функции	Трудозатр. день
1	Баранов П.Ф., доцент ОЭИ	Научный руководитель	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта, участие в обсуждениях по результатам работы, промежуточная проверка достигнутых результатов.	10
2	Стряпчев К.А., магистрант	Инженер	Выполнение поставленной задачи разработки, составление и оформление пояснительной записки к ВКР.	102
Итого:				111

Таким образом, была сформирована рабочая группа проекта, а именно – определена роль каждого участника, прописаны функции, выполняемые каждым

из участников и их трудозатраты в проекте, основная часть трудозатрат ложится на исполнителя–магистранта.

5.3 Планирование управления научно–техническим проектом

5.3.1 Контрольные события проекта

Ключевые события проекта представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Ключевые события проекта

Контрольное события	Дата	Результат (подтверждающий документ)
Постановка задачи	01.02.2022	Заявление темы ВКР
Обзор литературы	04.02.2022	Дипломная работа
Разработка схемотехники устройства	16.03.2022	Дипломная работа
Проведение экспериментов	07.04.2022	Дипломная работа
Анализ результатов	06.05.2022	Дипломная работа
Обсуждение результатов	09.05.2022	Дипломная работа
Оформление расчетно–пояснительной записки	14.05.2022	Дипломная работа
Сдача разработки и отчета о работе	26.05.2022	Дипломная работа

5.3.2 План проекта

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ (Таблица 9).

Таблица 9 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	2	01.02.2022	03.02.2022	Руководитель
2	Календарное планирование работ по теме	2	04.02.2022	06.02.2022	Исполнитель
3	Подбор и изучение материала	36	07.02.2022	15.03.2022	Исполнитель
4	Разработка схемотехники устройства	21	16.03.2022	06.04.2022	Исполнитель
5	Проведение экспериментов	21	07.04.2022	28.04.2022	Исполнитель
6	Проверка теоретических данных	6	29.04.2022	05.05.2022	Исполнитель
7	Анализ результатов работы	2	06.05.2022	08.05.2022	Исполнитель
8	Оценка эффективности полученных результатов	4	09.05.2022	13.05.2022	Руководитель Исполнитель

Продолжение таблицы 9

9	Выполнение других частей работы (менеджмент, социальная ответственность, английский)	11	14.05.2022	25.05.2022	Руководитель Исполнитель
10	Подготовка к защите работы	7	26.05.2022	02.06.2022	Исполнитель
Итого:		112	01.02.2022	02.06.2022	

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко–днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [19]:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %. [19]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{\Psi_i}$$

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

Ψ_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 10 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. График Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (2)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Согласно производственному календарю (для 6–дневной рабочей недели) в 2022 году 365 календарных дней, 122 выходных/праздничных дней.

Вычислим коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 122} = 1,5$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{\text{ки}}$ округляем до целого. Все рассчитанные значения вносим в таблицу 10.

Таблица 10 – Пересчет значений длительности выполнения каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни

Содержание работ	Исполнители	Ожидаемая трудоемкость, чел.–дни			Длительность работ, дни	
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	T_{Pi}	T_{Ki}
1. Составление и утверждение технического задания	Баранов П.Ф.	1	2	1,4	1,4	2
2. Календарное планирование работ по теме	Баранов П.Ф.	1	2	1,4	1,4	2
3. Подбор и изучение материала	Стряпчев К.А.	20	30	24	24	36
4. Разработка схемотехники устройства	Стряпчев К.А.	10	20	14	14	21
5. Проведение экспериментов	Стряпчев К.А.	10	20	14	14	21
6. Проверка теоретических данных	Стряпчев К.А.	3	5	3,8	3,8	6
7. Анализ результатов работы	Баранов П.Ф. Стряпчев К.А.	2	4	2,8	1,4	2
8. Оценка эффективности полученных результатов	Баранов П.Ф.	2	4	2,8	2,8	2

Продолжение таблицы 10

9.Выполнение других частей работы (менеджмент, социальная ответственность, английский)	Стряпчев К.А.	5	10	7	7	11
10.Подготовка к защите работы	Стряпчев К.А.	3	7	4,6	4,6	7

На основе таблицы 10 построим график Ганта, он представлен на рисунке 2. Красным цветом на рисунке обозначены работы, выполненные научным руководителем, оранжевым – инженером, зеленым – научным руководителем и инженером.

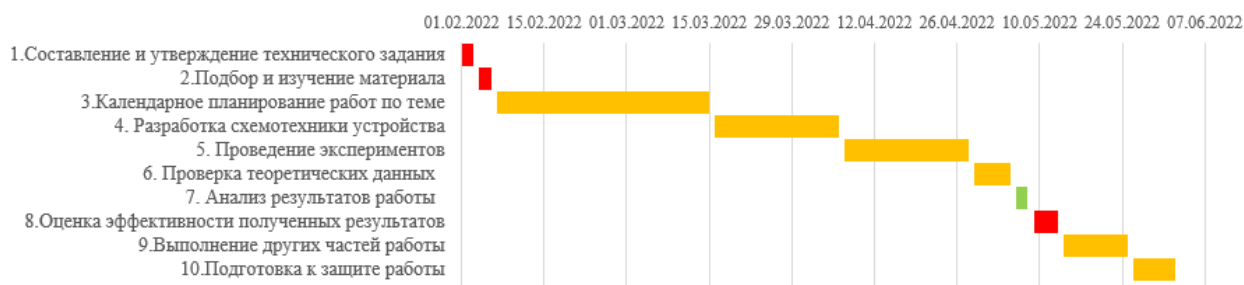


Рисунок 2 – Календарный план–график выполнения работ (диаграмма Ганта)

Таким образом, была определена трудоемкость выполнения работ и разработан календарный план–график проведения магистерской диссертации по теме. По нему можно увидеть, что самые продолжительные по времени работы – это разработка схемотехники, обеспечивающей работу устройства, и проведение экспериментов (по 21 дню) и подбор литературы (36 дней).

5.3.3 Бюджет научно–технического исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

5.3.3.1 Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

Стоимость всех видов материалов, необходимых для выполнения работ, формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку (в данной работе 5%) (Таблица 11).

Таблица 11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Кол– во	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Электронные компоненты	Различные	—	—	60 000
Изготовление печатной платы	—	1		3 000
Припой	ПОС–40 проволока 1 мм	1	250	250
Флюс	ЛТИ–120	1	200	200
Мультиметр	UNI–T UT33A+	1	3000	3000
Паяльная станция	Lukey 868	1	7000	7000
Всего за материалы				73 450
Транспортно–заготовительные расходы (3–5%)				3 672,5
Итого по статье C_m				77 122,5

На данном этапе были рассчитаны материальные затраты, необходимые для проведения научно–технического исследования. Они составляют 77 122,5 руб.

5.3.3.2 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно–измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме – результат в таблице 12.

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

№ п/п	Наименование оборудования	Кол–во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Персональный компьютер	1	40	40
2	Цифровой осциллограф RIGOL DS1052E	1	50	50
Сумма, руб.				90 000
Доставка и монтаж (15% от общей суммы), руб.				13 500
Итого, руб.				103 500

5.3.3.3 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

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

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала, раб. дн. (примем для научного руководителя $F_{\text{д}} = 95$, для инженера $F_{\text{д}} = 87$);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Месячный оклад работника рассчитывается как:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный в Томске 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб	Т _р , дни	З _{осн} , руб
Научный руководитель	36 800	1,3	47 840	5 237,2	10	52 372
Инженер	9 983	1,3	12 997,9	1 553,8	104	161 595,2
Итого:						213 967,2

Таким образом, рассчитана основная заработная плата исполнителей данного научно–технического исследования. Общая сумма заработной платы участников проекта составляет 213 967,2 руб.

5.3.3.4 Дополнительная заработная плата научно–производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (8)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплат, равный 0,3;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 14 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 14 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	52 372	161 595,2
Дополнительная зарплата	15 711,6	48 478,56
Зарплата исполнителя	68 083,6	210 073,76
Итого по статье $C_{зп}$	278 157,36	

5.3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), он равен 30 %.

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot 278157,36 = 83447,21$$

5.3.3.6 Накладные расходы

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

$$З_{накл} = k_{нр} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 278157,36 = 44505,18$$

5.3.3.7 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 [19].

Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.
Затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия	77 122,5
Затраты на специальное оборудование	103 500
Затраты по основной ЗП исполнителей	213 967,2
Затраты по дополнительной ЗП исполнителей	64 190,16
Отчисления во внебюджетные фонды	83 447,21
Накладные расходы	44 505,18
Итого бюджет затрат НИР	586 732,25

Подводя итог, можно сделать вывод, что бюджет затрат научно–технического исследования равен 586732,25 руб.

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

5.4.1 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 финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\Phi}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

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

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в 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:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (12)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристика вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Погрешность измерения толщины	0,2	5	4	4
2. Диапазон измеряемых толщин для стали	0,2	5	4	4
3. Допустимый зазор между датчиком и объектом контроля	0,2	4	4	4
4. Функционал	0,1	5	4	4
5. Удобство в эксплуатации	0,05	4	3	3
6. Цена	0,1	5	4	3
7. Простота технологии	0,05	5	4	4
8. Долговечность	0,03	4	3	3
9. Экологичность	0,07	5	4	4
ИТОГО	1	42	34	33

$$I_{p \text{ тек.проекта}} = 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,2$$

$$I_{p \text{ аналога 1}} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,6$$

$$I_{p \text{ аналога 2}} = 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога

$I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{фин.р.}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{\text{фин.р.}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad (13)$$

$$I_{\text{фин.р.}}^p = 4,2/0,81 = 5,18$$

$$I_{\text{фин.р.}}^{a1} = 3,6/0,875 = 4,11$$

$$I_{\text{фин.р.}}^{a2} = 3/1 = 3$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{фин.р.}}^p}{I_{\text{фин.р.}}^a}, \quad (14)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{фин.р.}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{фин.р.}}^a$ – интегральный технико–экономический показатель аналога.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности был проведен в форме таблицы, он представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,875	0,81
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3	3,6	4,2
Интегральный показатель эффективности	3	4,11	5,18
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,58	0,79	1

Из таблицы 18 можно видеть, что лучшим исполнением научно–технического исследования является текущая разработка, так как в данном исполнении лучшее обеспечение материалами и оборудованием, следовательно,

достигается наибольшая эффективность проделанной работы.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Оценка конкурентоспособности проекта показала, что метод вихретоковой толщинометрии имеет ряд преимуществ перед другими методами неразрушающего контроля. Определены потенциальные потребители результатов исследования – результаты данной работы будут наиболее привлекательны преимущественно для предприятий нефтегазовой промышленности.

В результате SWOT–анализа были выделены основные преимущества и недостатки проекта и оценены возможности развития проекта в условиях внешней среды.

В ходе работы над разделом было осуществлено планирование научно–исследовательских работ, и был рассчитан бюджет затрат проекта. Общая продолжительность работ составила 121 дня. Общий бюджет проекта составил 586732,25 рублей. Основную часть бюджета составила зарплата работников.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1AM01		ФИО Стряпчев Кирилл Андреевич	
Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение (НОЦ)	Отделение электронной инженерии
Уровень образования	магистратура	Направление/ специальность	11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Тема ВКР:

Разработка многоканального вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объект исследования:</i> вихретоковый толщиномер. <i>Область применения:</i> нефтегазовая промышленность. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория. <i>Размеры помещения:</i> 8*5 м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер, электронные компоненты, плата, паяльная станция, мультиметр, осциллограф. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> моделирование электронных цепей, разводка платы с помощью ПО на компьютере, монтаж электронных компонентов, проверка прибора с помощью мультиметра, осциллографа.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	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.
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Опасные факторы: 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. Вредные факторы: 1. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 2. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 3. Монотонность труда, вызывающая монотонию;

	4. Перенапряжение зрительных анализаторов. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: устройства защитного заземления, предохранительные устройства, соблюдение визуальных параметров экрана, показателей освещенности, микроклимата, режимов труда и отдыха. Расчет: расчет системы искусственного освещения.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	Воздействие на атмосферу: при пайке в атмосферный воздух выделяются: олова оксид, свинец и его неорганические соединения. Воздействие на литосферу: образование отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники, люминесцентных ламп, макулатуры.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС: Техногенного характера: аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар; Биолого–социального характера: угроза пандемии. Наиболее типичная ЧС: пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП ТПУ	Сечин Александр Иванович	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ01	Стряпчев Кирилл Андреевич		

6 Социальная ответственность

Введение

Тема магистерской диссертации направлена на разработку вихретокового толщиномера для неразрушающего контроля алюминиевых труб. Область применения – нефтегазовая промышленность. Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть как мелкие и средние организации, так и крупные предприятия нефтегазовой промышленности.

Рассматриваемое рабочее место находится в 214 аудитории 4 корпуса. Аудитория оснащена персональным компьютером, паяльной станцией, мультиметрами, осциллографами. Рабочими процессами, связанными с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне, являются моделирование электронных цепей, разводка платы с помощью ПО на компьютере, монтаж электронных компонентов, проверка прибора с помощью мультиметра, осциллографа. Также рабочее место составляет рабочий стол, стул.

Рабочее место располагается на 3 этаже, аудитория представляет собой комнату размером 8 м на 5 м, высотой 3,5 м, 1 окно, выходящее на запад, в помещении находится 5 единиц технологического оборудования.

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.

6.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В трудовом кодексе РФ содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и так далее [19].

Работа в офисе относится ко второй категории тяжести труда – работы выполняются при оптимальных условиях внешней производственной среды и

при оптимальной величине физической, умственной и нервно–эмоциональной нагрузки. В соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- 1) длительность рабочей смены не более 8 часов;
- 2) установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1–2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);
- 3) обеденный перерыв не менее 40 минут.

Рабочее место в 214 аудитории 4 корпуса организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда. Оно удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) обеспечивает возможность удобного выполнения работ;
- 2) учитывает физическую тяжесть работ;
- 3) учитывает размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
- 4) учитывает технологические особенности процесса выполнения работ.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При организации рабочего места основной целью является обеспечение качественного и эффективного выполнения работы при полном использовании оборудования в соответствии с установленными сроками.

Конструкция рабочей мебели в рассматриваемой рабочей зоне в 214 аудитории 4 корпуса, а это рабочий стол и кресло, обеспечивают возможность индивидуальной регулировки соответственно росту пользователя и создают удобную позу для работы. Вокруг ЭВМ обеспечено свободное пространство около 100 см.

Высота рабочей поверхности стола составляет 750 мм. Высота рабочей поверхности выдвижной подставки, на которую устанавливается клавиатура, составляет 650 мм. Ширина рабочего стола – 800 мм, длина – 1500 мм. Имеется

пространство для ног высотой 700 мм, шириной 800 мм, глубина на уровне колен составляет 700 мм и на уровне вытянутых ног – 700 мм.

В рабочей зоне установлен монитор, который расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500 мм. Угол наблюдения в горизонтальной плоскости монитора составляет около 30° нормали экрана. Имеется возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране, регулирование высоты и поворота.

Место для работы на компьютере и взаиморасположение всех его элементов соответствует антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При устройстве рабочего места при работе за ПК были соблюдены условия лучшего местоположения оборудования и наличия свободного рабочего пространства.

Все указанные выше параметры оборудования рабочей зоны соответствуют нормам, указанным в ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [2].

6.2 Производственная безопасность

При выполнении работ на персональном компьютере (ПЭВМ) согласно «ГОСТ 12.0.003–2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 1 [19]:

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте в лаборатории

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.	+	+	+	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [4]
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95 [5]
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [6]
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека	+	+		ТИ Р М–075–2003 Межотраслевые типовые инструкции по охране труда для работников, занятых проведением работ по пайке и лужению изделий [7]

6.2.1 Анализ электрической безопасности рабочей зоны

В лаборатории широко используется электричество для питания компьютерной техники и различного технологического оборудования, которое может являться источником опасности.

Помещение кабинета по электробезопасности согласно ПУЭ [8] сухое, хорошо отапливаемое помещение с токонепроводящими полами, с температурой 23–24° и влажностью 50–60%, отсутствуют признаки и факторы, характерные для классов особо опасных и повышенной опасности поражения электрическим током, поэтому в отношении опасности поражения людей электрическим током помещение относится к помещению без повышенной опасности.

6.2.2 Анализ освещенности рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны помещения, оборудованной ПК, также является одной из причин нарушения зрительной функции, а также влияет на общее самочувствие и эффективность труда.

В аудитории 214 имеется естественное боковое одностороннее освещение, а также искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы мониторы ПК были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95 указаны в таблице 2 [5].

Таблица 2 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая Поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО е н, %		КЕО е н, %	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г – 0,8	3,0	1,0	1,8	0,6
Помещения	Искусственное освещение				
	Освещенность, лк			Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
	При комбинированном освещении		При общем освещении		
	Всего	От общего			
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400	200	300	40	15

Для рабочего места с паяльной станцией предусмотрено отдельное искусственное освещение. Согласно ТИ Р М–075–2003 «Межотраслевая типовая

инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником» для местного освещения рабочих мест при пайке паяльником применяются светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники располагаются таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работников. Устройство для крепления светильников местного освещения обеспечивает фиксацию светильника во всех необходимых положениях. Подводка электропроводов к светильнику находится внутри устройства [7].

Так как освещенность не представляется возможность изменить из-за отсутствия люксметра, то проведем расчёт общего искусственного освещения.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 8$ м, ширина $B = 5$ м, высота $H = 3,5$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23–05–95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк.

Площадь помещения:

$$S = A \times B = 8 \times 5 = 40 \text{ м}^2 \quad (1)$$

Коэффициенты отражения стен и потолка составляют соответственно $\rho_c = 10\%$ и $\rho_{\Pi} = 30\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД–40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР–2–40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной

решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_{\pi} - h_p, \quad (2)$$

где h_{π} – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_{\pi} = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м} \quad (3)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м} \quad (4)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 2,2)}{2,2} + 1 = 2,6 \approx 3, \quad (5)$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{св} + 0,5} = \frac{(8 - \frac{2}{3} \cdot 2,2)}{1,227 + 0,5} = 3,78 \approx 4, \quad (6)$$

где u – расстояние от края ряда (м).

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 4 \cdot 3 = 12 \quad (7)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \quad (8)$$

Размещаем светильники в три ряда. На рисунке 1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

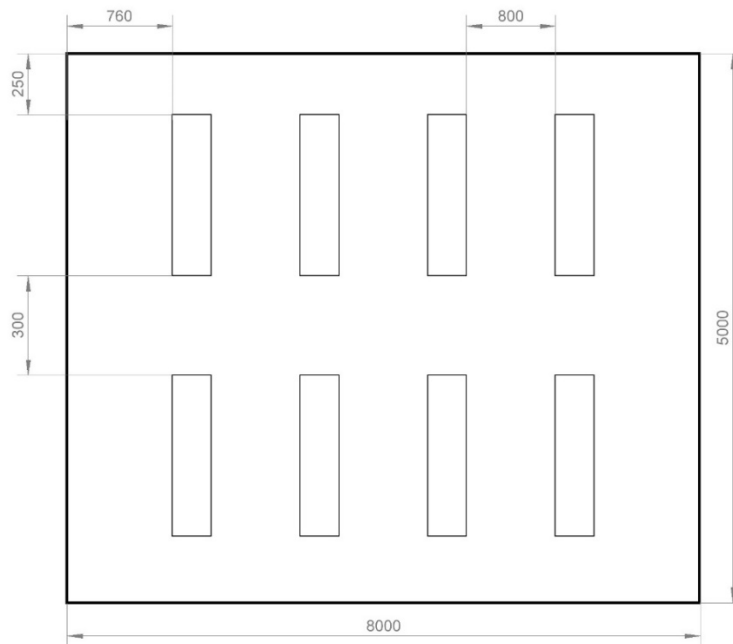


Рисунок 1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 5}{2 \cdot (8 + 5)} \approx 2 \quad (9)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{с}} = 10\%$ и $\rho_{\text{п}} = 30\%$ и индексе помещения $i = 2$ равен $\eta = 0.6$.

Световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot S \cdot K_{\text{з}} \cdot Z}{2 \cdot N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 40 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{2 \cdot 12 \cdot 0.6} = 2750 \text{ лм} \quad (10)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л}} - \Phi_{\text{н}}}{\Phi_{\text{л}}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (11)$$

$$\frac{\Phi_{л} - \Phi_{н}}{\Phi_{л}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2750}{2600} \cdot 100\% = -5.7\%, \text{ что удовлетворяет условию.}$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки: $P = 12 \cdot 40 = 480 \text{ Вт}$.

6.2.3 Анализ показателей микроклимата

Микроклимат определяется действующими на организм человека показателями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Длительное воздействие на человека неблагоприятных показателей микроклимата ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям, оптимальные параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [6]. Они представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Оптимальные значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 – 24	21 – 25	40 – 60	0,1
Теплый	23 – 25	22 – 26	40 – 60	0,1
Допустимые значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20 – 25	19 – 26	15 – 75	0,1
Теплый	21 – 28	20 – 29	15 – 75	0,1 – 0,2

В аудитории 214 корпуса 4 температура составляет около 24° и влажность около 50–60% в теплое время года, в холодное – температура около 23° и влажность также около 50–60%. Данные показатели соответствуют норме. В помещении имеются окна, через которые осуществляется вентиляция помещения. В зимнее время аудитория отапливается, что обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха.

Таким образом, показатели микроклимата в данной лаборатории отвечают рассматриваемым нормам.

6.2.3 Анализ повышенной температуры поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев

Источником воздействия этого фактора становится работа с паяльной станцией в процессе сборки устройства. Воздействие данного фактора на человека может быть выражено возникновением ожогов вплоть до 4, самой высшей, степени тяжести.

Для минимизации данного фактора следует руководствоваться ТИ Р М075–2003 «Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником».

Поэтому перед выполнением работ по пайке паяльником было пройдено обучение, инструктаж и проверка знаний по охране труда, освоение безопасных методов и приемов выполнения работ, методов и приемов правильного обращения с приспособлениями, инструментами и грузами. Поэтому была получена вторая группа по электробезопасности – необходимая для электротехнического персонала группа, получение которой напрямую зависит от должности сотрудника. Она присваивается тем работникам, у которых имеется высокий риск получить удар током во время рабочего процесса согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [9]. В данном случае она необходима, так как работники, выполняющие пайку паяльником, должны иметь II группу по электробезопасности.

На рассматриваемом рабочем месте работники, занятые пайкой паяльником, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, такими как защитные очки и перчатки.

6.3 Экологическая безопасность

На данном рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно, воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

С точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии в целом.

Компьютеры (системный блок, монитор, клавиатура), утратившие потребительские свойства, относятся к IV классу опасности (малоопасные отходы). Бытовая техника, отходы деревянной офисной мебели также относятся к IV классу опасности, отходы мебели деревянной офисной (с содержанием недревесных материалов не более 10%) – к V классу опасности.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях [10].

Обращение с люминесцентными лампами в лаборатории осуществляет специализированный персонал, ответственный за организацию и проведение работ по сбору, хранению и утилизации отработанных ртутьсодержащих ламп. Услуги по утилизации предоставляются на основании КОГСУ (Классификация операций сектора государственного управления) и ОКПД 90.02.140149 (Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности).

Также при пайках металлов и сплавов свинцово–оловянными припоями (бессурьмянистые ПОС–30, 40, 60, 70) различных марок с применением канифоли в качестве флюса сопровождается выделением в атмосферу аэрозолей свинца, олова и паров канифоли.

Свинец и его соединения, находящиеся в воздухе в виде аэрозоля, относятся к первому классу опасности. Предельно допустимая концентрация свинца в воздухе – 0,05 мг/м³.

На предприятии согласно ТИ Р М–075–2003 применяются следующие меры защиты:

1) Эксплуатация или ввод в эксплуатацию участков пайки, не оборудованных вентиляцией – запрещено.

2) Вентиляционные установки включаются до начала работ и выключаются после их окончания. Работа вентиляционной установки контролируется с помощью специальной сигнализации.

3) Рабочие места оборудованы местными вытяжными устройствами, обеспечивающими скорость движения воздуха непосредственно на месте пайки не менее 0,6 м/с, независимо от конструкции воздухоприемников.

4) Все вентиляционные установки, обслуживающие участки, на которых производится пайка, имеют паспорта с указанием скорости воздуха на месте пайки – 0,6 м/с.

Согласно ТИ Р М–075–2003 для минимизации последствий загазованности воздуха на предприятии используется система вентиляции, причем конструкция и разводка вентиляционной сети обеспечивает возможность регулярной очистки воздуховодов, а внутренние поверхности воздуховодов вытяжных систем и вентиляторы периодически очищаются от флюса, загрязненного свинца.

В рабочей зоне с паяльной станцией лаборатория может быть оборудована местная вытяжная вентиляция, что соответствует нормам ТИ Р М–075–2003 [11].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар, угроза пандемии.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

Причинами возгорания при работе с компьютером могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность устройства компьютера или электросетей;
- небрежность оператора при работе с компьютером;
- воспламенение ПК из-за перегрузки.

Данная лаборатория относится к категории Г – умеренная пожароопасность помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», так как в ней происходят процессы пайки свинцово-оловянными припоями, которые находятся в расплавленном состоянии [12].

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания и направляются на выход в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС. На этаже находится два порошковых огнетушителя и пожарных крана, а также два эвакуационных выхода. Переносной порошковый огнетушитель применяется для тушения токоведущих частей и электроустановок.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана

эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу.

Вывод

Данный раздел и выводы в процессе написания имеют огромную важность, целью которого является создание безопасных условий для человека и окружающей среды. В случае соблюдения вышеизложенных нормативов возможно предотвращение влияния вредных и опасных факторов на человека и экологию.

Был проведен расчет искусственного освещения рабочей зоны, выбранные люминесцентные лампы и их количество удовлетворяет условию создания необходимой освещенности.

Фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям, они были взяты из материалов специальной оценки рабочих мест предприятия по условиям труда, определялись непосредственно измерительными приборами или путем расчета. Поэтому рабочее место в 214 аудитории 4 корпуса ТПУ соответствует нормативно-технической документации и может эксплуатироваться с надлежащей техникой безопасности.

Заключение

В ходе работы был изучен материал диссертации по одноканальному вихретоковому толщиномеру [2], взятого за основу в разработке многоканального вихретокового толщиномера.

Изучен принцип работы вихретокового толщиномера, математическая модель, устройство и принцип работы одноканального ВТ.

Были учтены известные недостатки в схемотехнике одноканального ВТ, обнаруженные в ходе испытаний и проведенных экспериментов, требующие модернизации. Данная диссертация [2] имеет хорошую теоретическую основу и стала отправной точкой для разработки многоканальной системы ВТ.

Также были изучены нормативные документы [6] [7] по объекту контроля – легкосплавная бурильная труба (ЛБТ), произведен обзор литературы.

Составлена схема установки, определена общая концепция многоканального ВТ, принципа работы. На этапе макетирования установки, в рамках проверки общей концепции работы многоканальной системы, было решено ограничиться четырьмя каналами, покрывающих практически всю площадь трубы (97%), а также оставить идею «беспроводной связи» между измерительной головки и блоком обработки информации на следующую версию многоканального ВТ, чтобы не усложнять и не удорожать проект.

Затем произвели разработку структурных и принципиальных схем для установки; выполнено моделирование основных узлов по полученным расчетам и результатам проведенных экспериментов; трассировка, изготовление и монтаж печатных плат как основных, так и вспомогательных для проведения экспериментов и получения реальных данных, необходимых для моделирования и расчетов.

Произведена настройка и испытания сначала одного канала, для проверки экспериментальных данных с теоретическими. Полученные результаты соответствуют теоретическим расчетам и моделированию с достаточно близким приближением, с поправкой на реальные условия и паразитные параметры.

Также в ходе работы создавалась вспомогательная оснастка, улучшались конструктивные недостатки измерительной головки (каретки), например изготовлен новый держатель для ВТП на ИГ, существенно упрощающий процесс выставления зазора между ВТП и трубой. Изготовлен макет сборной ЛБТ трубы разной толщины для проведения лабораторных испытаний.

В результате работы был изготовлен прототип многоканального вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб. Проведены испытания в лаборатории и в поле.

В дальнейшем планируется продолжить работу, увеличить количество каналов до 8 для полного покрытия площади трубы, усовершенствовать кинематику измерительной головки. Добавить возможность беспроводной связи между ИГ и БОИ. Повысить качество и добиться повторяемости ВТП с небольшим разбросом параметров обмоток. Оптимизировать установку под мелкосерийное производство.

Список использованных источников

1. Гольдштейн А.Е. Метод вихретоковой дефектоскопии прутков и труб на основе использования комбинированного вихретокового преобразователя с возбуждением разночастотных пространственных компонент магнитного поля / Гольдштейн А.Е., Булгаков В.Ф., Крёнинг Х.–М. В.А. // Дефектоскопия. 2011. № 11. С. 39–47.
2. Белянков В.Ю. Вихретоковый измеритель толщины стенки легкосплавных бурильных труб / Гольдштейн А.Е., Белянков В.Ю. // Дефектоскопия. 2017. № 8. С. 57–64.
3. ГОСТ 23786–79 Трубы бурильные из алюминиевых сплавов. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3, 4) [Электронный ресурс] / Росстандарт, 1981. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/cataloginter>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 21.02.2022.
4. Легкосплавные бурильные трубы [Электронный ресурс] / ООО «Акватик–Бурильные трубы»: 2022. URL: <http://akvatik-dp.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.02.2022.
5. РД 39–013–90 Инструкция по эксплуатации бурильных труб - Куйбышев, 1990. - 228 с.
6. РЭ 99337070–001–2016 Легкосплавные бурильные трубы ЛБТВК с наружным диаметром 147мм и толщинами стенок 11,13 и 15 мм. Руководство по эксплуатации и рекомендации по проектированию бурильных колонн. - Каменск–Уральский: ООО «Бурильные трубы», 2016. - 74 с.
7. РЭ ЛБТВН 147–2016 Трубы бурильные легкосплавные высокой надежности ЛБТВН 147. / 1–е изд. - АО "АркониК СМЗ", 2017. - 107 с.
8. Spenser Holcomb P.E. DS–1 Aluminium drill pipe inspection vol. 6. / 5th ed. - Houston: Bureau Veritas, 2020. - 75 p.

9. ARTIS–3 Portable EMI Pipe Inspection System [Электронный ресурс] / OEM: 2022. URL: <http://www.oem-usa.com/products/EMIportableA3.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 04.02.2022.
10. Компания ООО "НПК Интроскопия" [Электронный ресурс] / 2022. URL: <http://npkin.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 24.01.2022.
11. Калантаров П.Л. Расчет индуктивностей. Справочная книга. / Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. // 3-е изд. - Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. - 488 с.
12. MicroCAP 12 / Spectrum: 2021. / URL: <http://www.spectrum-soft.com/index.shtm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения: 03.01.2021.
13. Алхимов Ю.В. Анализ напряженно-деформированного состояния легкосплавной бурильной трубы / Алхимов Ю.В., Алхимов В.Ю., Лобанов Ф.П. // Вестник науки Сибири, 2013. Том 3. № 9. С. 49–54.
14. Булгаков В.Ф. Вихретоковые толщинометры для автоматического контроля легкосплавных бурильных труб / Булгаков В.Ф., Толмачев И.И. // Дефектоскопия, 1993. № 5. С. 72–74.
15. ГОСТ 24289–80 Контроль неразрушающий вихретоковый, термины и определения [Электронный ресурс] / Росстандарт: 1988. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/cataloginter>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 20.01.2022.
16. Беда П.И. Исследование сигнала накладного датчика в зависимости от изменения размеров и расположения дефектов типа трещин // Дефектоскопия, 1970. № 1. С. 62–67.
17. Белянков В.Ю. Компьютерное моделирование различных конструктивных вариантов накладного вихретокового преобразователя дефектоскопа / Гольдштейн А.Е., Белянков В.Ю. // Ползуновский вестник, 2014. № 2. С. 10–14.

18. Якимов Е.В. Измерение толщины стенки электропроводящих труб вихретоковым методом при значительных изменениях зазора / Якимов Е.В., Гольдштейн А.Е., Булгаков В.Ф., Алхимов Ю.В., Белянков В.Ю. // Контроль Диагностика, 2014. № 11. С. 14–18.

19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022). – ЦЕНТРМАГ, 2022. – 412 с.

20. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. – Рубланк, 2003. – 692 с.

21. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда". – Норматика, 2014. – 24 с.

22. Сводная ведомость результатов проведения специальной оценки условий труда в 2021 году [Электронный ресурс]. / URL: <https://portal.tpu.ru/departments/otdel/oot/Tab1/Tab1..>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 13.04.2022.

23. Грязная и опасная сторона технологий [Электронный ресурс]. / URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2013/06/13035804>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 27.03.2022.

Приложение А

Раздел 1

Обзор литературы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ01	Стряпчев Кирилл Андреевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Баранов П. Ф.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Кобзева Н. А.	к.п.н.		

1 Literature review

1.1 Light-alloy drill pipe

The object of control is LDP (light-alloy drill pipe) with a diameter of 147 (+2; -1) mm, nominal lengths of 9 and 12 meters.

- Wall thickness of the main body: 11($\pm 1,1$), 13($\pm 1,3$) и 15($\pm 1,5$) mm.
- Weight of one pipe for alloy D16T: from 230 to 310 kg (depending on the wall thickness and the pipe design).

More details about dimensions and tolerances are presented in the table in Appendix A and in the LDP regulations. [6] [7] [8].

LDP is often used in a combined drill string with SDP (steel drill pipe) when drilling long enough horizontal sections. The total weight of the string is reduced, the friction forces in the horizontal section are significantly reduced, thereby reducing overall losses and allowing the axial load to be transferred to the bit more efficiently.

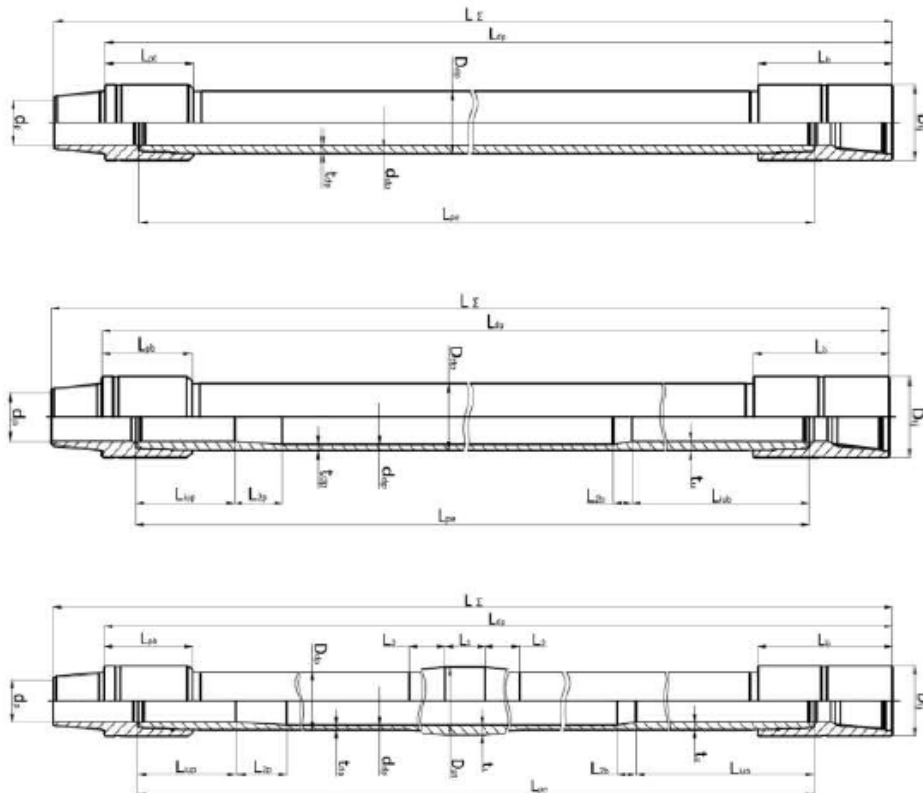


Fig.38 – light-alloy drill pipe, types.

It is supposed to control the pipe along the entire length “from lock to lock”. This will significantly speed up the process of control of LDP sets. Locks are controlled using acoustic control.

1.2 Single channel eddy current thickness gauge

V. Yu. Belyankov's dissertation "Eddy current control of the wall thickness of light-alloy drill pipes" can be considered as the basis on which the development of a multichannel ECTG system will be started.

In this dissertation, the author developed a model for the interaction of a magnetic field and an overhead ECC on a LDP, conducted studies of influencing factors, and conducted experiments with the resulting model [2].

Subsequently, the signal processing model and technique was used by the author to create a prototype of a single-channel ECTG for verification, which showed the reliability of theoretical data in practice. The author also created control samples, methods for working adjustment and calibration, primary adjustment, which were then implemented in a single-channel ECTG.

This work will be a good foundation for R&D and the development of a multichannel ECTG.

1.3 Principle of operation of the eddy current thickness gauge

ECC consists of two windings:

- excitation winding (hereinafter EW);
- measurement winding (hereinafter MW);

The current from the sinusoidal generator is fed to the EW, which generates an alternating electromagnetic field and excites eddy currents in the electrically conductive EW. The eddy currents create a field that affects the MW in the ECC, creating an EMF in it.

The MW voltage has two components:

$$\dot{U} = \dot{U}_0 + \dot{U}_{\text{eH}} \quad (1.1)$$

where: $\dot{U}_0$ — this is the initial voltage that is induced in MW in the absence of OC due to inductive coupling between EW and MW ECC.

$\dot{U}_{\text{eH}}$ — this is the insertion voltage that is induced by eddy currents in MW.

Every voltage has complex components.

The voltage $\dot{U}_0$ depends on several parameters, such as the size of the ECC itself and the frequency of the excitation current in it. The voltage $\dot{U}_{\text{eH}}$ is determined by the EW parameters and the relative position of the ECC relative to the given EW.

When controlling the thickness of the pipe, the voltage $\dot{U}_0$ ECC, in general, depends on such parameters as:

- pipe thickness,
- gap between ECC and pipe,
- change in magnetic permeability,
- electrical conductivity

Of these, the first parameter is controlled, the rest are secondary.

Filtering the useful signal (pipe thickness) from the entire spectrum is the main purpose of the measurement.

The signal $\dot{U}_{\text{eH}}$ enters the SAFPS, after processing which the following values are sent to the ADC input and then to the PC:

- Re HF – real HF component
- Im HF – imaginary component of HF
- Re LF – real component of LF
- Im LF – imaginary component of LF

Then the signal parameters are calculated:

$$A_{\text{HF}} = \sqrt{(\text{Re HF})^2 + (\text{Im HF})^2}, \varphi_{\text{HF}} = \arctg\left(\frac{\text{Im HF}}{\text{Re HF}}\right), \varphi_{\text{LF}} = \arctg\left(\frac{\text{Im LF}}{\text{Re LF}}\right) \quad (1.2)$$

The value of the amplitude A_{HF} calculates the gap h between the ECC and the test object (LDP):

$$h = Kh \cdot (cg_0 + cg_1 \cdot e^{cg_2 \cdot amp} + cg_3 \cdot e^{cg_4 \cdot amp}) \quad (1.3)$$

where:

cg_n – constant coefficients,

$amp = \frac{A_{HF}}{A_{HF_0}}$ – relative HF amplitude,

A_{HF_0} – HF amplitude at zero gap,

Kh – correction factor for calibration.

The wall thickness, at a fixed gap value h , is approximated by a piecewise linear function:

$$T = K_{LF}(h, jtx) \cdot [\varphi_{LF} + \Delta\varphi_{LF(tx)} + \Delta\varphi_{LF} + Kc \cdot \varphi_{LF}] + B_{LF}(h, jtx) \quad (1.4)$$

where:

$K_{LF}(h, jtx), B_{LF}(h, jtx)$ – coefficients depending on the gap h and the number of section jtx of the dependence of the thickness on phase φ_{LF} ;

$\Delta\varphi_{LF}, Kc$ – coefficients for calibration by two known values of the pipe thickness;

$\Delta\varphi_{LF(tx)}$ – phase correction for a change in the electrical conductivity of the pipe.

Correction for change in electrical conductivity is based on the assumption that electrical conductivity changes with temperature. In addition, the change in electrical conductivity also depends on the chemical composition in the pipe. It is assumed that throughout the entire pipe the chemical composition changes slightly than the influence of the ambient temperature factor.

The phase dependence on temperature is approximated by a linear function:

$$\Delta\varphi_{LF(tx)} = -Kt_{LF} \cdot (tx - t_0) \quad (1.5)$$

where:

$Kt_{LF} = 0.03794$ – proportionality factor,

tx – pipe temperature,

t_0 – temperature at which calibration is performed.

The pipe temperature is calculated from the difference between the phases of the HF signal:

$\varphi_{HF(tx)}$ – measured HF phase,

$\varphi_{HF(t_0)}$ – measured phase at calibration

$$tx = t_0 - Kt_{HF} \cdot (\varphi_{HF(tx)} - \varphi_{HF(t_0)}) \quad (1.6)$$

where:

$Kt_{HF} = 0,0119$ – proportionality factor.

In other words, a preliminary estimate of the pipe thickness is made without considering the correction for electrical conductivity, and then the expected value of the phase HF $\varphi_{HF(t_0)}$ and the phase difference $\varphi_{HF(tx)} - \varphi_{HF(t_0)}$ are calculated.

The change in the phase HF from the gap h and the pipe thickness T is considered using a piecewise linear model of the dependence:

$$\varphi_{LF(t_0)} = T \cdot (Kk_{HF(jkx)} \cdot h + Bk_{HF(jtx)}) + (Kb_{HF(jkx)} \cdot h + Bb_{HF(jkx)}) \quad (1.7)$$

where:

$Kk_{HF(jkx)}, Bk_{HF(jtx)}, Kb_{HF(jkx)}, Bb_{HF(jkx)}$ – coefficients of the piecewise linear approximation of the dependence of the phase HF on the gap h .

Below are plots of the phase shift versus pipe wall thickness for different gap values for LF and HF:

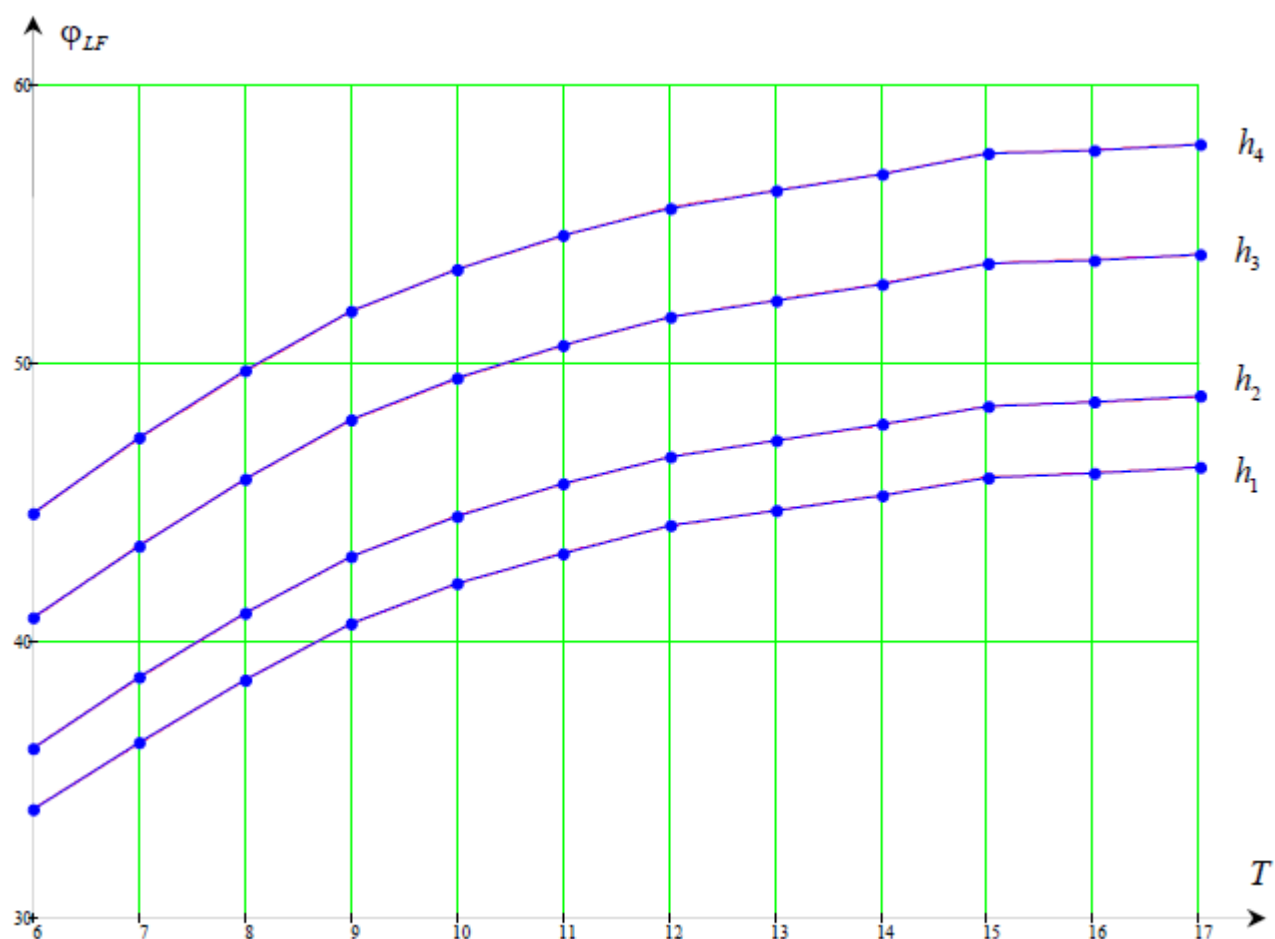


Fig39 – Dependence of the phase shift LF on the wall thickness T of the pipe at various gaps h

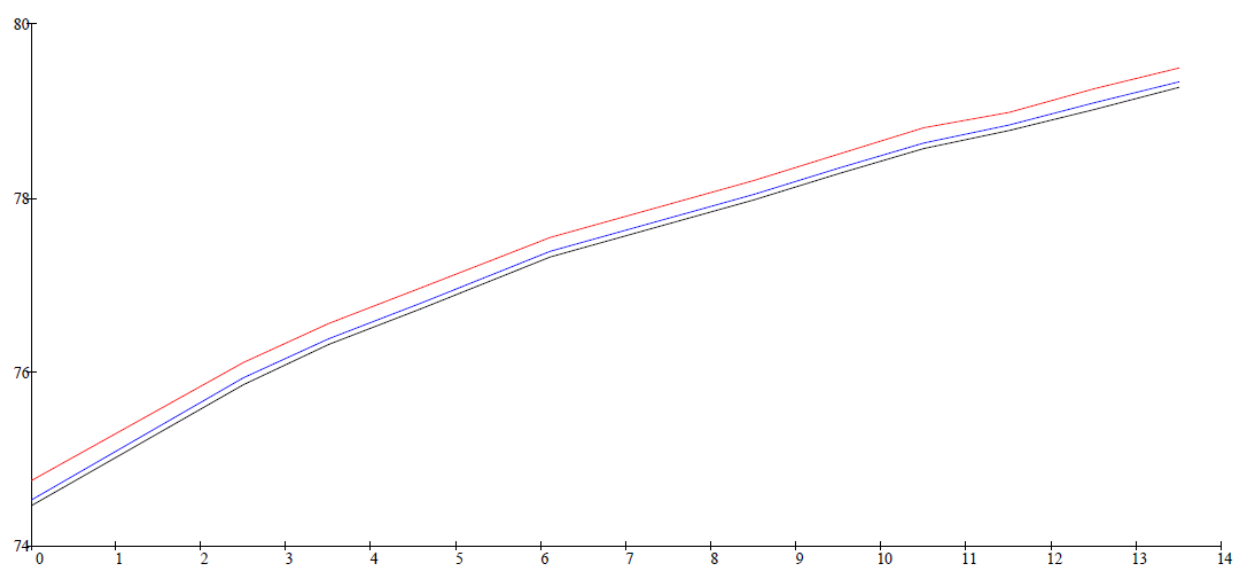


Fig40 – Dependence of the phase shift HF on the pipe wall thickness at different gaps h

1.4 Problems when measuring LDP thickness

The main problem when making wall thickness measurements with the clamp-on ECC is due to the possible change in the gap between the pipe and the ECC, as well as the electrical conductivity of the pipe material, which significantly affect the output signal from the ECC.

The use of multi-frequency ECC excitation proposed by the author made it possible to significantly reduce the influence of these parameters and showed its effectiveness on single-channel ECTG in the work of V. Yu. Belyankov [2].

1.5 Eddy current converter

As an ECC, a ready-made sensor with a diameter of 56 mm with three windings will be used:

- EW – excitation winding
- MW – measuring winding
- CW – compensation winding

The MW and CW windings are connected in opposite directions. Such a solution involves minimizing (compensating) the influence of EW on MW in the absence of a controlled object.

1.5.1 Calculation of L and R windings

Below is a drawing of a frame for ECC. Only overall dimensions and dimensions for EW, MW and CW windings are indicated.

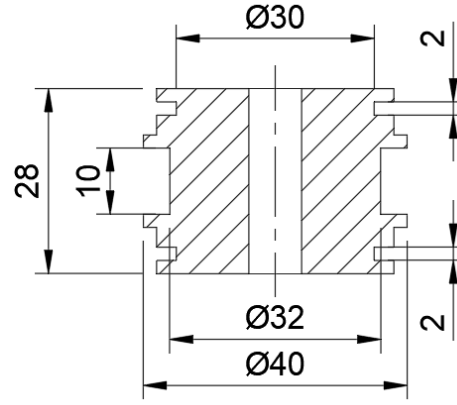


Fig41–Frame of ECC

Thus, for EW: winding length 10 mm, diameter of the first layer 32 mm. For MW and CW, the length of the windings is 2 mm, the diameters of the first layer are 30 mm.

The frame is made of non–magnetic material.

To calculate the windings, a generalized parameter is useful β (dimensionless):

$$\beta = R \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma} \quad (1.1)$$

where:

$R = \sqrt{R_{\text{гозб}} \cdot R_{\text{изм}}}$ – equivalent radius ECC;

Calculation of parameters EW, MW and CW is necessary for subsequent simulation.

For EW:

$$\begin{aligned}
n &= 600 \\
D &= 32 \text{ mm} \\
d &= 0.24 \text{ mm} \\
S &= 0.03142 \text{ mm}^2 \\
l &= 10 \text{ mm} \\
n_1 &= \frac{l}{d} = \frac{10}{0.24} = 40 \\
k &= \frac{n}{n_1} = \frac{600}{40} = 15 \text{ layers} \\
h &= d \cdot k = 0.24 \cdot 15 = 3.6 \text{ mm} \\
R_{\text{гозо}} &= \frac{D + (D + h)}{2} = \frac{32 + 32 + 3.6}{2} \approx 17.8 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{1.2}$$

For MW and CW:

$$\begin{aligned}
l &= 2 \text{ mm} \\
d &= 0.125 \text{ mm} \\
S &= 0.00785 \text{ mm}^2 \\
n &= 300 \text{ ВИТКОВ} \\
D &= 30 \text{ mm} \\
n_1 &= \frac{l}{d} = \frac{2}{0.125} = 16 \\
k &= \frac{300}{16} \cong 20 \\
h &= 0.125 \cdot 20 = 2.5 \text{ mm} \\
R_{\text{узм}} &= \frac{D + D + h}{2} \cong 16.25 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{1.3}$$

Consequently:

$$R = \sqrt{R_{\text{гозо}} \cdot R_{\text{узм}}} \cong 17.1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \tag{1.4}$$

Generalized parameter for 125 Hz:

$$\beta_{125} = 17.1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2\pi \cdot 125 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 15 \cdot 10^6} = 2.08 \tag{1.5}$$

For 2 kHz:

$$\beta_{2000} = 8.322 \tag{1.6}$$

Calculation of the inductance and resistance of the exciting winding:

$$\begin{aligned}
 l &= 10 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 h &= 3.75 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 D &= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 N &= 600 \\
 R_{0.2} &= 0.54905 \frac{\text{ohm}}{\text{m}} \\
 d_{cp} &= 0.03575 \text{ m} \\
 L &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot N^2 \cdot d \cdot \Phi(\zeta, \alpha) \\
 \zeta &= \frac{h}{d_{cp}} = 0.105 \\
 \alpha &= \frac{l}{d_{cp}} = 0.28 \\
 \Phi(0.105, 0.28) &= 11.7 \\
 R &= R_{0.2} \cdot \pi d \cdot N
 \end{aligned} \tag{1.7}$$

where: $\Phi(0.105, 0.28)$ – the value of the function, taken from the reference data for the calculation of inductances [11].

Therefore, for EW:

$$\begin{aligned}
 L_{OB} &\approx 15 \text{ mH} \\
 R_{OB} &\approx 37 \text{ ohm}
 \end{aligned} \tag{1.8}$$

Similarly (1.7) is calculated for MW and CW:

$$\begin{aligned}
 \Phi(0.0798, 0.0613) &= 17.9 \\
 L_{OH} &\approx 5,3 \text{ mH} \\
 R_{OH} &\approx 67.5 \text{ ohm}
 \end{aligned} \tag{1.9}$$

1.5.2 Mutual Inductance Calculation

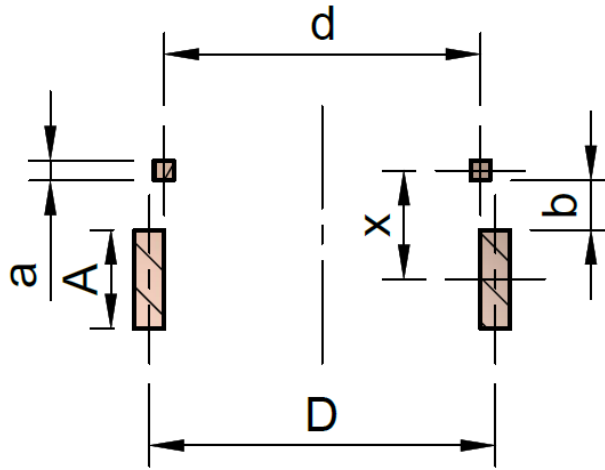


Fig42 – Winding arrangement EW and MW

where:

$$d = 32.6 \text{ mm}$$

$$D = 35.75 \text{ mm}$$

$$b = 5 \text{ mm}$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

$$A = 10 \text{ mm}$$

Thus, the diameter of the equivalent contour for MW is:

$$d_e = d \left(1 + \frac{a^2}{6 \cdot d^2} \right) = 32.6 \left(1 + \frac{2^2}{6 \cdot 32.6^2} \right) = 32.6 \text{ mm} \quad (1.10)$$

The diameter of the equivalent contour for EW is calculated as for MW (1.10):

$$D_e = 36.2 \text{ mm} \quad (1.11)$$

Mutual inductance of equivalent circuits:

$$\begin{aligned} M_e &= \frac{\mu_0}{4\pi} \sqrt{R_1 \cdot R_2} \cdot F \\ F &= f(m^2) \\ m^2 &= \frac{(R_1 - R_2)^2 + x^2}{(R_1 + R_2)^2 + x^2} \end{aligned} \quad (1.12)$$

Consequently:

$$\begin{aligned}
R_1 &= \frac{d_e}{2} = 16.3 \text{ mm} \\
R_2 &= \frac{D_e}{2} = 17.875 \text{ mm} \\
x &= b + \frac{a + A}{2} = 5 + \frac{2 + 10}{2} = 11 \text{ mm} \\
m^2 &= \frac{(16.3 - 17.875)^2 + 11^2}{(16.3 + 17.875)^2 + 11^2} = 0.0958
\end{aligned} \tag{1.13}$$

From reference data [11]:

$$F(0.096) \approx 8.515 \tag{1.14}$$

Substituting (1.14) and (1.13) into (1.12):

$$\begin{aligned}
M_e &= 0.1453 \cdot 10^{-7} \text{ H} \\
M &= M_e \cdot N_{OB} \cdot N_{OH} = 0.1453 \cdot 300 \cdot 600 \cdot 10^{-7} = 2.615 \text{ mH} \\
k &= \frac{M}{\sqrt{L_{OB} \cdot L_{OH}}} = \frac{2.615}{\sqrt{15 \cdot 5.3}} = 0.2933
\end{aligned} \tag{1.15}$$

So the mutual inductance between EW and MW is 2.615 mH, the coupling factor is 0.293.

1.5.3 Calculation of the signal on the windings

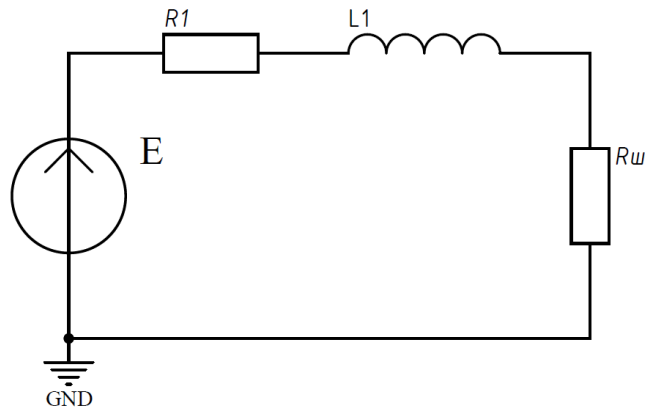


Fig.43 – ECC equivalent circuit

Figure 6 shows the equivalent circuit for ECC, where:

- E – signal source;
- R1 – winding resistance;
- L1 – winding inductance;

- R_{III} – shunt.

Consequently:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= \dot{I} \cdot R_{III} \\ \dot{I} &= \frac{\dot{E}}{R1 + R_{III} + j2\pi f \cdot L1} \\ \dot{U}_x &= \frac{\dot{E} \cdot R_{III} \cdot (R1 + R_{III})}{(R1 + R_{III})^2 + \omega^2 \cdot L1^2} - j \cdot \frac{\dot{E} \cdot R_{III} \cdot \omega L1}{(R1 + R_{III})^2 + \omega^2 \cdot L1^2}\end{aligned}\quad (1.16)$$

Substitute in equation (1.16) the values for 2 kHz (1.17) and 125 Hz (1.18) obtained earlier:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= \frac{5 \cdot 2 \cdot (36 + 2)}{(36 + 2)^2 + 188^2} - j \frac{5 \cdot 2 \cdot 188}{(36 + 2)^2 + 188^2} = 0.0103 - j0.0511 \\ |\dot{U}_x| &= \sqrt{0.0103^2 + 0.0511^2} = 0.052 \text{ B} \\ \varphi_{U_x} &= \arctg \frac{0.0511}{0.0103} = 78.6 \text{ deg}\end{aligned}\quad (1.17)$$

Same for 125 Hz:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= 0.24 - j0.075 \\ |\dot{U}_x| &= 0.25 \text{ B} \\ \varphi_{U_x} &= 17.4 \text{ deg}\end{aligned}\quad (1.18)$$

1.6 Technical task

Based on the regulatory documents on LBT [8] [3] [6] [5] [7], we will compose the technical task (TT) for multichannel ECTG:

Table 1 – Technical tasks for multi-channel ECTG

Supply voltage, V	220
Controlled length, m	At least 12
Controlled diameter LDP, mm	147
Thickness range, mm	to 20
Working temperature range, °C	from 0 to +50