

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

Институт	Неразрушающего контроля
Направление подготовки	Приборостроение
Кафедра	ФМПК

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов
УДК 620.179.152:621.664

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Шабуров Дамир Шамильевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шиян В. П.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения.	Требования ФГОС (ОК-14,ПК-1,6,7,8,10,11.12,13,17,23,24,27), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа.	Требования ФГОС (ОК-5,ПК-14,15,19,20,21,28,29,30,33) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,8,11,12, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе.	Требования ФГОС (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции.	Требования ФГОС (ПК-33), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
Универсальные компетенции		
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-28), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-13), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-4,14,15, ПК-8) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Суржиков А.П.
(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
1БМ5Б	Шабурову Дамиру Шамильевичу

Тема работы:

Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Для транспортировки газа используются трубопроводы, в процессе эксплуатации которых могут образоваться сквозные дефекты и гидратные пробки. Образование сквозных дефектов приводит к утечке продукта, а также может привести к техногенным катастрофам, а появление гидратных образований в газопроводах препятствует транспортировке газа. Поэтому существует необходимость своевременного и достоверного обнаружения и устранения дефектов в газопроводах.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none">- обзор методов дефектоскопии трубопроводов;- анализ литературных данных по радиоволновому неразрушающему контролю;- выбор элементов лабораторного макета радиоволнового дефектоскопа;- экспериментальные исследования;- оценка результатов экспериментов и разработка структурной схемы измерительной части радиоволнового дефектоскопа
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Иностранный язык	Вебер Юлия Юрьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Обзор методов радиационного контроля	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шиян Владимир Петрович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Шабуров Дамир Шамильевич		

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

Студенту:

Группа 1БМ5Б	ФИО Шабурову Дамиру Шамильевичу
------------------------	---

Институт Уровень образования	Неразрушающего контроля магистратура	Кафедра Направление/специальность	ФМПК Приборостроение
--	---	---	--------------------------------

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	<i>Затраты на выполнение НИИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>НИИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка сравнительной эффективности исследования</i>	<i>Расчёт интегрального показателя эффективности НИИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности</i>
2. <i>Планирование управления научно-техническим проектом</i>	<i>Составление перечня этапов и работ по выполнению НИИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>
2. <i>Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта)</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Шабуров Дамир Шамильевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1БМ5Б	ФИО Шабурову Дамиру Шамильевичу
-----------------	------------------------------------

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	<i>-воздействие излучений (электромагнитное и радиочастотное) -недостаточная освещенность рабочей зоны; -отклонение показателей микроклимата от нормальных; -влияние шума; -повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; -электрический ток</i>
2. Экологическая безопасность:	<i>Воздействие на литосферу сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Возможные чрезвычайные ситуации являются: ситуации техногенного характера.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.2017 год
--	----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Шабуров Дамир Шамильевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 74 с., 26 рис., 3 табл., 21 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: радиоволновая дефектоскопия, дефектоскопия газопроводов, обнаружение гидратных пробок, неразрушающий контроль.

Объектом исследования является метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов.

Цель работы – определение возможностей радиоволновой дефектоскопии для диагностики трубопроводов, проведение экспериментов по оценке чувствительности метода.

В процессе работы проводились:

- исследование методов обнаружения сквозных дефектов в трубопроводах;
- сборка лабораторного макета дефектоскопа;
- оценка параметров согласования СВЧ-тракта лабораторного макета дефектоскопа;
- эксперименты по оценке чувствительности метода радиоволновой дефектоскопии газопроводов;
- эксперименты по обнаружению гидратных пробок в газопроводах;
- разработаны структурная и принципиальная электрическая схема измерительной части радиоволнового дефектоскопа.

В результате работы получены положительные результаты испытания метода радиоволновой дефектоскопии трубопроводов и метода обнаружения гидратных пробок, которые можно использовать в качестве исходных данных для создания полевой модели устройства.

Определения

В данной магистерской диссертации применены следующие термины с соответствующими им определениями:

Радиоволновая дефектоскопия: метод получения информации, с помощью которого возможен поиск дефектов контролируемого изделия, путем регистрации и анализе изменения параметров, которыми обладают взаимодействующие с объектом контроля электромагнитные волны радиодиапазона (их длина составляет от 0,01 до 1 м).

Микроволновое излучение, сверхвысокочастотное излучение (СВЧ-излучение) — электромагнитное излучение, включающее в себя дециметровый, сантиметровый и миллиметровый диапазоны радиоволн (длина волны от 1 м — частота 300 МГц до 1 мм — 300 ГГц).

Рефлектометрия – это технология, позволяющая определять различные характеристики исследуемой среды по отражению зондирующего сигнала.

Волновод — искусственный или естественный направляющий канал, в котором может распространяться волна. При этом поток мощности, переносимый волной, сосредоточен внутри этого канала или в области пространства, непосредственно примыкающей к каналу.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
2. ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.
3. ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
4. ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
5. ГОСТ 3.1102 – 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.
6. ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.
7. ГОСТ 7.0.5 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.
8. ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
9. ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
10. ГОСТ 7.32 – 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
11. ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Оглавление

Введение	13
1 Методы дефектоскопии трубопроводов	15
1.1 Способы непрерывного анализа микроконцентраций природного газа	15
1.2 Типы датчиков газоанализаторов	17
1.3 Оптические инфракрасные газоанализаторы	20
1.4 Автомобильные лаборатории-течеискатели	21
1.5 Внутритрубная диагностика	22
1.6 Магнитная внутритрубная диагностика	26
1.7 Метод акустической эмиссии	27
1.8 Акустоэмиссионный дефектоскоп	
2 Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов	28
2.1 Метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов	29
2.2 Радиоимпульсная рефлектометрия для определения местонахождения гидратных пробок	30
2.3 Генератор на диоде Ганна	33
2.4 Устройство генераторов на диоде Ганна (ГДГ)	34
2.5 Ферритовый вентиль	36
2.6 Циркулятор	39
2.7 Трансформатор типа волны	40
2.8 СВЧ детектор	41
3 Экспериментальные исследования	43
3.1 Измерение параметров согласования СВЧ-тракта	44
3.2 Определение чувствительности метода радиоволновой дефектоскопии трубопроводов	45
3.3 Разработка измерительной части радиоволнового дефектоскопа	48
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50

4.2	Планирование управления научно-техническим проектом	54
4.3	Заключение по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”	56
5	Социальная ответственность	57
5.1	Производственная безопасность	57
5.1.1	Анализ вредных и опасных производственных факторов	57
5.1.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	58
5.2	Экологическая безопасность	65
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	68
5.4	Законодательное регулирование радиационной безопасности.	70
	Заключение	71
	Список публикаций	73
	Список использованных источников	74
	Приложение А	77

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика технического состояния газопроводов, включающая в себя: контроль качества сварных швов, выявление коррозионных повреждений, содержит и такую важную составляющую, как обнаружение зародившихся и развивающихся сквозных дефектов (трещин), приводящих к утечке продукта и крупным катастрофам. [1].

Наиболее часто встречаются сквозные дефекты, имеющие небольшие размеры, например $12 \times 0,2$ мм, $10 \times 0,2$ мм, $25 \times 0,2$ мм, однако, при утечке через сквозной дефект газа с большой скоростью (до сотен метров в секунду) может возникнуть лавинный процесс разрушения газопровода. Протяженность дефекта может составлять сотни и даже тысячи метров.

Это подтверждает актуальность проблемы своевременного и достоверного обнаружения дефектов в газопроводах и их устранения на начальной стадии возникновения.

Практически необходимо иметь непрерывный контроль состояния трубопроводов (продуктопроводов), особенно вблизи населенных пунктов, железнодорожных переездов, промышленных, густонаселенных и других народно-хозяйственных объектов. Для решения данной проблемы предлагается метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов.

Существует также проблема образования гидратных пробок в газопроводах, которые затрудняют или полностью блокируют транспортировку природного газа откладываясь на стенках. Природный газ, при определенных температурах и давлениях образует гидраты – твердые соединения с водой, которая находится в составе транспортируемого газа. Гидраты внешне схожи со льдом или снегом, поскольку состоят из молекул газа и воды. Закупоривание и снижение пропускной способности трубопроводов может привести к нарушению работы оборудования, возникновению аварийных и опасных ситуаций [2].

На предприятиях добычи и транспортировки зачастую нет систем мониторинга и контроля над процессом гидратообразования. Для устранения

гидратных пробок обычно в трубопровод подают метанол, который ликвидирует гидраты, но при этом является «вредным продуктом». Использование метанола увеличивает стоимость транспортировки газа. Для устранения этой проблемы предлагается использование метода радиоимпульсной рефлектометрии для обнаружения гидратных пробок.

1 Методы дефектоскопии трубопроводов

Современные методы и средства неразрушающего контроля, применяемые при диагностике трубопроводов основаны на различных физических принципах и имеют свои достоинства и недостатки.

1.1 Способы непрерывного анализа микроконцентраций природного газа.

Образовавшиеся сквозные дефекты безусловно, нарушат герметичность трубопровода. Даже в том случае, когда трубы проложены в земле на некоторой глубине, при утечке продукта происходит его попадание на поверхность в окружающую среду. Поэтому одним из способов контроля герметичности газопроводов является непрерывный анализ микроконцентраций природного газа (CH_4) в надпочвенном слое воздуха.

Для этой цели применяется множество устройств, различающихся типом чувствительных элементов -- датчиков.

1.2 Типы датчиков газоанализаторов

Действие термokatалитических (термохимических) основано на беспламенном сжигании (окислении) углеводородов на поверхности каталитически активного элемента и измерении количества выделившегося при этом тепла, которое пропорционально концентрации углеводородов. К недостаткам данного типа чувствительных элементов можно отнести отсутствие селективности (избирательности), недолговечность сенсора, отравляемость сенсора, ограниченный диапазон измерений (не выносит перегрузки по измеряемому компоненту), низкая чувствительность, низкое быстродействие, обязательное присутствие кислорода в контролируемой атмосфере. Главным достоинством является низкая стоимость [3].

Работа электрохимических датчиков основана на измерении сопротивления (электропроводности), напряжения или тока, характеризующих

прохождение электрического тока в растворах электролитов при их взаимодействии с анализируемым газом. Недостатком электрохимических датчиков является низкая селективность, ограниченное быстродействие, недолговечность сенсора, отравляемость сопутствующими газами. Большим плюсом же является широкая номенклатура контролируемых газов, низкая стоимость и низкое энергопотребление.

Широко распространены полупроводниковые сенсоры (Рисунок 1), принцип действия которых основан на изменении поверхностного сопротивления полупроводникового материала в результате адсорбции детектируемого газа.



Рисунок 1 - Течеискатель для подземных газопроводов полупроводниковый
ТПГ-94

Минусом такого типа датчиков является отсутствие селективности, ограниченное быстродействие, недолговечность сенсора, отравляемость, потешность измерений. Компенсируется это высокой чувствительностью при низкой стоимости.

Наконец, оптические инфракрасные абсорбционные детекторы. Работа их основана на способности молекул большинства газов избирательно поглощать инфракрасное излучение. При этом каждый газ имеет свои характерные только

для него полосы пропускания. Они имеют высокую стоимость и подвержены температурной зависимости.

Однако неоспоримыми их преимуществами являются: высокая чувствительность, селективность, высокое быстродействие, работа в широком диапазоне концентраций, большой срок службы (5 лет и более), отсутствие отравляемости высокими концентрациями контролируемых и сопутствующих газов и наличием в атмосфере активных реагентов. например, силиконовых соединений. низкое энергопотребление.

1.3 Оптические инфракрасные газоанализаторы

В настоящее время распространены оптические газоанализаторы для измерения концентраций метана и других углеводородов.

Традиционные термокatalитические, электрохимические и полупроводниковые датчики зависят от химически агрессивной среды и не могут конкурировать с оптическими датчиками по быстродействию и селективности.

Основная причина широкой распространенности оптических газоанализаторов - стабильное положение нуля и стабильная чувствительность к контролируемому газу. Это означает отказ от ежедневной калибровки.

Другим преимуществом оптических газоанализаторов по сравнению с термокatalитическими, электрохимическими и полупроводниковыми средствами измерений заключается отсутствие контакта между чувствительными элементами и загазованной атмосферой. Излучатель и приемник защищаются прозрачными окнами из химически стойкого материала, и сквозь газовую пробу проходит световой луч. Поэтому оптические датчики защищены от влияния химически агрессивных веществ и соединений (сера,

хлор, фосфор, аммиак, окиси азота, тетраэтилсвинец), выводящих из строя газоанализаторы, принцип работы которых основан на химических реакциях.

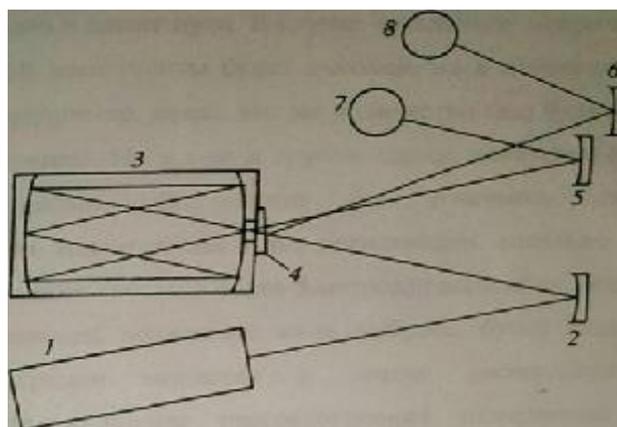
На них не влияют концентрационные перегрузки до 1000/0 концентрации определяемого газа, время требуемое на восстановление после перегрузки зависит от времени обновления содержимого газовой камеры.

Также важной особенностью оптических газоанализаторов является избирательность. В отличие от других типов газоанализаторов в них исключена реакция на другие вещества, поскольку различные газы имеют различные спектры поглощения.

Быстродействие является еще одним преимуществом оптических газоанализаторов, поскольку для датчиков, в основе измерения которых лежит химическое взаимодействие с определяемым газом, время измерения зависит от скорости протекания химических реакций и достигает нескольких секунд.

Изменяя длину газовой камеры, получают приборы, которые имеют различную чувствительность и измеряют в различных диапазонах концентраций. Для увеличения длины используются многоходовые оптические кюветы, которые изображены на рисунке 2. Длина пути в 4—5 метров позволяет измерять концентрации метана на уровне естественного фона — от 10 до 6 долей объема. А для измерения концентраций в диапазоне от 0 до 100 процентов объемных долей с точностью 1 % достаточно пути в см.

Из рисунка 2 видно, что ЛГАУ состоят из оптически связанной системы: блока источника излучения и блока приемников. Принцип действия таких приборов одинаков, не зависимо от того, какой вид углеводородного газа требуется обнаружить.



1 - лазер; 2, 5, 6 — сферические зеркала; 3 двухзеркальная многоходовая кювета (м.х.к.); 4 — входное окно; 7,8 — измерительный и опорный фотоприемники.

Рисунок 2 — Схема оптической части лазерного газоанализатора для поиска утечек газа (ЛГАУ)

Инфракрасное излучение от источника с длиной волны, соответствующей области максимального поглощения углеводородами пересекает контролируемую область. При наличии углеводородов на пути излучения поглощается ими, и интенсивность излучения, дошедшего до приемника, уменьшается. Сравнение с изменением интенсивности излучения, дошедшего от источника до приемника на другой (опорной) длине волны позволяет устранить влияние пыли или аэрозолей в атмосфере, загрязнения оптики на результаты измерений.

Источник и приемник излучения могут быть расположены на расстоянии несколько десятков метров друг от друга.

Рабочая длина волны газоанализатора составляет 3,4 мкм; опорная длина волны - 4,0 мкм.

Показания таких газоанализаторов пропорциональны не только концентрации, но и длине пути. В случае локального выброса, концентрация контролируемой компоненты будет высокой, но в небольшом промежутке. При наличии, например, ветра, это же количество газа будет "размазано" на

большем расстоянии. Но в том и другом случае показания газоанализатора будут сопоставимы. В случае же точечного газоанализатора, л проблематичным является сам факт регистрации локально выброса из-за достаточно большого (обычно более 5 метров) расстояния между приборами. Возможно, опасность, возникшая из-за выброса, будет недооценена из-за малой концентрации вещества в точках расположения точечных газоанализаторов в случае рассредоточения измеряемой компоненты, обусловленной действием диффузии или ветра.

Применение стационарных точечных или портативных газоанализаторов на открытых площадках влечет существенные материальные затраты на установку большого числа датчиков контроля загазованности и высокие эксплуатационные расходы.

Газоанализаторы открытого типа, позволяют контролировать промежуток между источником и приемником на наличие повышенной концентрации углеводородов интегрально. Большая дистанция обеспечивает высокую чувствительность газоанализаторов указанного типа, независимо от различных факторов, например, направления ветра [5].

1.4 Автомобильные лаборатории-течеискатели

Для безопасной эксплуатации газотранспортных систем необходимо патрулирование газопровода с целью своевременного обнаружения утечек газа. В городских условиях о герметичности газовой сети судят по концентрации газа, накапливающегося в подземных инженерных сооружениях (подвалах, колодцах, коллекторах). Немало колодцев расположено на проезжей части дорог и улиц, вдоль которых обычно и прокладываются распределительные газопроводы. Во всех перечисленных случаях незаменимы автомобильные лаборатории-искатели, способные вести контроль на ходу.

В России и за рубежом создано множество таких автомобильных комплексов. Отечественная передвижная автолаборатория оборудована лазерным анализатором микроконцентраций метана и вспомогательным оборудованием, необходимым для его функционирования, которые монтируются на автомобиле повышенной проходимости ГАЗ -- 66.

Но данная система, использующая метод анализа микроконцентраций природного газа мало пригодна для поиска дефектов в тяжелых почвенно-климатических условиях Западной Сибири, где разведаны крупные месторождения нефти и газа.

Позволяя довольно точно анализировать газовый состав (при отсутствии посторонних выходов газа), лаборатория предназначена, в основном, для профилактических осмотров газопровода и малоприспособлена для быстрого обнаружения дефектов (низкая, примерно 10 км/ч скорость передвижения) на протяженных участках газопровода, а тем более для непрерывного контроля в зоне с плотной промышленной застройкой.

1.5 Внутритрубная диагностика

Огромное значение для обеспечения безопасности трубопроводных систем имеет внутритрубная диагностика. Для ее реализации применяются дефектоскопы — снаряды.

Они состоят из одного или нескольких модулей, которые выполняют свои функции, например транспортируют аппаратуру для неразрушающего контроля, регистрирующую аппаратуру, аккумуляторную батарею и т.п.

Энергия текучей по водопроводу среды (газа, нефти и т.п.) используется для перемещения дефектоскопического устройства внутри трубопровода. Обычно перемещение дефектоскопического устройства внутри трубопроводов осуществляется за счет энергии текучей по трубопроводу среды (газа, нефти и т.п.). Для осуществления перемещения

устройства по трубопроводу за счет давления текучей среды, на модули дефектоскопа устанавливаются кольца из упругого материала, которые перекрывают поперечные сечения трубы между внутренней поверхностью трубопровода и корпусом устройства. Иногда для регулирования перемещения по трубопроводу применяют поршневые кольца с перфорацией.

Внутритрубный инспекционный снаряд (ВИС) – это устройство, которое перемещается внутри трубопровода при помощи транспортируемого продукта, оборудованное средствами обнаружения и регистрации данных о дефектах, состоянии стенок труб и сварных швов и месте их расположения. Распространенные виды ВИС:

- Ультраскан WM — предназначен для ультразвукового контроля труб на предмет коррозии;
- Ультраскан CD — ультразвуковое обнаружение трещин в стенках трубопроводов и в сварных швах;
- магнитный дефектоскоп MFL — магнитное обследование;
- калипер — контроль геометрии внутренней поверхности.

1.6 Магнитная внутритрубная диагностика

Исходя из приведенной классификация, можно сделать вывод, что моделей снарядов существует большое множество. Но после проведения анализа информации по внутритрубной дефектоскопии, выделился наиболее часто используемый тип.

Таким типом является магнитный дефектоскоп-снаряд (рисунок 3), который предназначен для внутритрубного контроля трубопроводов в среде транспортируемого продукта с целью обнаружения стресс-коррозионных и

коррозионных повреждений в стенках и продольных сварных швах трубопроводов, определения видов и параметров (размеров) дефектов.



Рисунок 3 - Дефектоскоп-снаряд КОД-4М

Корпуса модулей аппарата представляют собой жесткие цилиндрические оболочки из немагнитного материала, соосные с трубопроводом.

На этих оболочках установлены по окружности их поперечных сечений постоянные магниты, которые образуют со стенкой трубопровода в каждом сечении единые магнитные контуры путем соединения магнитов со стенкой трубопровода с помощью множества проволочных или упругих фольговых металлических элементов (рисунок 4).



Рисунок 4 - Упругие контактные пластины ВИС

По данным контроля может проводиться оценка остаточного ресурса, устанавливаться предельно-допустимые режимы перекачивания газа/нефти и делаться выводы о необходимости ремонта трубопровода.

Внутритрубные дефектоскопы реализуют метод поперечного намагничивания участков стенок трубопроводов для выявления трещин продольной ориентации (самый распространенный тип).

Измерительно-преобразовательная система обеспечивает получение пространственного распределения дискретной функции магнитного поля вблизи внутренней поверхности труб, содержащей информацию о состоянии стенок труб. Дальнейший анализ распределения магнитного поля специальными методами позволяет производить разделение дефектов по виду, поверхностной ориентации и определять их тип и размеры (глубину, протяженность).

Высокое разрешение дефектоскопа обеспечивается многоканальной системой измерения и высокой частотой считывания информации. Достигнутое разрешение измерительной системы позволяет качественно анализировать сложные комбинации дефектов стенки трубы (сетка трещин, коррозия вместе с трещинами, механические концентраторы напряжений вместе с трещинами) и дефектов продольного сварного шва.

По результатам обследования предоставляется полный комплект информации об особенностях трубопровода и дефектах на внутренней и внешней поверхностях трубы:

- выявляются дефекты типа: общая коррозия, продольные магистральные трещины, группы трещин (стресс-коррозия), технологические дефекты (плены, задиры), трещины в продольном сварном шве, вмятины;

- технологические объекты (краны, катушки, врезки, заглушки и т.д.);

- сортамент труб, толщины стенок, магнитная проницаемость материала, длины труб, ориентация продольных швов;

- телеметрическая информация о прохождении снаряда (скорость движения, вращение, путь, время, температура внутри снаряда, ускорение по трем направлениям, информация о параметрах источников питания).

Скорость контроля двухтонного снаряда в трубопроводе составляет от трех до четырех метров в секунду, протяженность участка контроля может составлять до 150 км.

Анализ и обработка данных проводится с использованием современного программного обеспечения. Современная математическая модель полей рассеяния позволяет точно рассчитывать параметры обнаруживаемых дефектов. После проверки на месте, данные подвергаются обработке, состоящей из нескольких этапов: определение параметров отдельных труб (длина, толщина стенки, число и ориентация продольных швов, сортамент), занесение их в базу данных с присвоением индивидуального номера, поиск и распознавание технологических объектов (краны, катушки, заглушки и т. д.), поиск и распознавание дефектов на отдельных трубах, занесение всех обнаруженных объектов в базу данных. На основании полученных данных оформляется окончательный отчет, содержащий полную информацию о каждой трубе обследованного участка трубопровода.

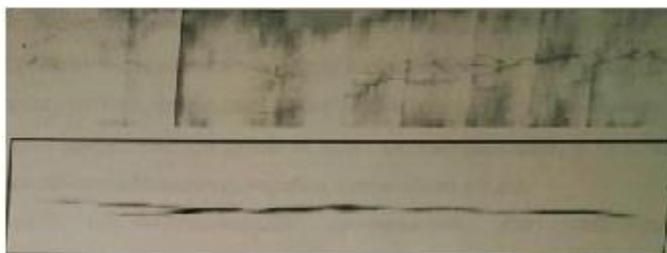


Рисунок 5 — Сопоставление результатов магнитопорошковой и внутритрубной дефектоскопии

Наглядным примером качества и достоверности выявляемости дефектов при ВТД является рисунок 5. Вверху фотография магнитопорошковой картины реального внутреннего дефекта — трещины, обнаруженной дефектоскопом.

Внизу изображение (возможно цветное) этой трещины после 1 обработки информации компьютерной программой.

1.7 Метод акустической эмиссии

Для контроля трубопроводов, имеющих большую протяжённость, наряду с внутритрубной дефектоскопией широко используется метод акустической эмиссии (АЭ).

Высокая производительность метода АЭ (за один цикл измерений можно охватить до 500 метров) достигается благодаря двум факторам: для установки датчиков необходим только локальный доступ к поверхности трубопровода; датчики размещаются на сравнительно большом расстоянии друг от друга (до 100 м).

Одной из особенностей акустических методов контроля является возможность обнаружения поверхностных и внутренних дефектов изделий из любых материалов на значительных расстояниях. Последний факт объясняется сравнительно невысоким затуханием ультразвуковых волн в используемом диапазоне частот. Максимальная глубина прозвучивания есть наибольшая глубина, на которой выявляется дефект заданного размера. Достижение максимальной глубины прозвучивания ограничено порогом акустической чувствительности, определяемым в свою очередь чувствительностью аппаратуры и уровнем помех.

Порог акустической чувствительности определяют как отношение минимального принимаемого акустического сигнала к максимальному посылаемому акустическому сигналу. Можно отметить, что акустическая

чувствительность современных дефектоскопов равна 90...100 дБ, у лучших приборов она достигает 120 дБ.

1.8 Акустоэмиссионный дефектоскоп

Известно устройство для акустоэмиссионной диагностики трубопроводов. В этом устройстве повышение точности диагностики трубопроводов (газо- и нефтепроводов) при их испытаниях и эксплуатации достигается за счет определения разности времени прихода гармонических составляющих сигнала АЭ и измерения энергетических параметров сигнала с учетом затухания волн АЭ в материале изделия. При истечении газа через дефект возникают акустические колебания (сигналы). С помощью установленных на трубе электроакустических преобразователей (рисунок 6) эти сигналы принимают. Отмечают время прихода различных гармонических составляющих акустического сигнала.

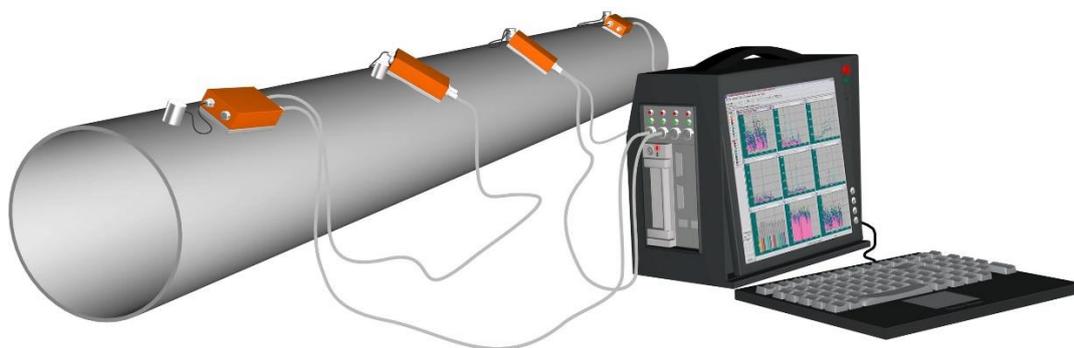


Рисунок 6 — Электроакустические преобразователи установленные на трубе.

Вследствие дисперсии звука в трубопроводе, время распространения различных гармонических составляющих акустического сигнала от источника до приемника неодинаково. По разности времени прихода этих гармонических составляющих судят о расстоянии от источника (дефекта) до приемника, определяя тем самым местоположение дефекта.

Существует и применяется модернизированная методика для АЭ диагностики магистральных трубопроводов. Достоверность диагностики,

проводимой с помощью этого устройства, повышается за счет локального нагружения стенок контролируемого трубопровода повышенным давлением рабочей среды. Устройство состоит из двух блоков: силового и блока регистрации и обработки информации. Устройство перемещается внутри контролируемого трубопровода под действием рабочей среды. Силовой блок создает локальное повышенное давление на стенки трубопровода. Под действием динамической деформации трубопровода возникает электромагнитное излучение, которое воспринимается антенной, также размещенной на блоке регистрации и обработки. По изменению характеристик этого излучения (сигнала) в результате прохода устройства по трубопроводу после обработки полученной информации судят о наличии дефектов в трубопроводе. Недостатком данного метода является невозможность быстрого получения информации о локальном дефекте. Такая информация становится известной только после извлечения устройства из трубопровода.

2 Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов

2.1 Метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов

Метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов предполагает выявление сквозного дефекта при регистрации СВЧ излучения из щели. Особенностью данного метода является то, что трубопровод используется в качестве волновода.

Структурная схема лабораторного макета радиоволнового дефектоскопа представлена на рисунке 7.

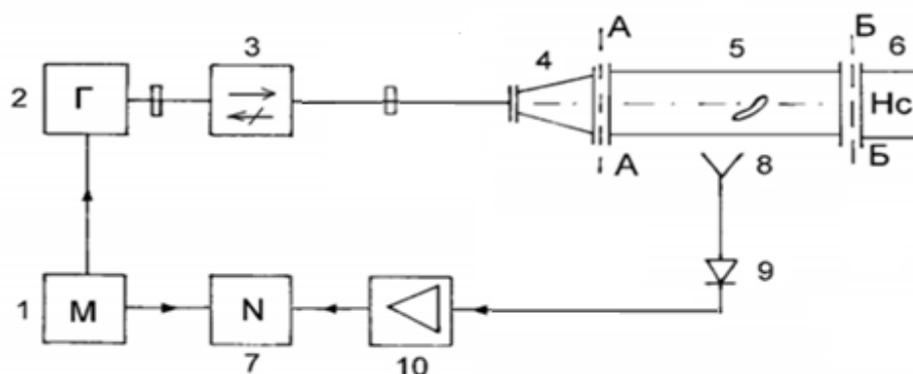


Рисунок 7 - Структурная схема лабораторного макета радиоволнового дефектоскопа

1 – модулятор; 2 – СВЧ-генератор; 3 – вентиль; 4 – трансформатор типа волны; 5 – трубопровод; 6 – согласованная нагрузка; 7 – скоростной осциллограф; 8 – приемная антенна; 9 – СВЧ-детектор; 10 – усилитель.

Принцип работы радиоволнового дефектоскопа заключается в следующем.

СВЧ импульс длительностью в 10 нс и частотой заполнения 10 ГГц от генератора 2 через трансформатор типа волны 4 поступает в трубопровод 5. Тип волны H_{11} и ее частота f выбрана для обеспечения минимального затухания и стабильности структуры волны в трубе с диаметром D .

При распространении СВЧ импульса по волноводу некоторая часть энергии теряется, за счет потерь в стенках трубопровода. При прохождении

СВЧ-импульса по участку трубопровода со сквозным дефектом часть энергии излучается в свободное пространство через дефект. Излученная энергия в виде электромагнитной волны является информативным параметром, определяющим наличие дефекта. Сигнал принимается приемной антенной 8, детектируется, затем усиливается и подается на скоростной осциллограф. По временной задержке излученного импульса относительно момента запуска развертки осциллографа определяется местоположение дефекта при известной скорости распространения СВЧ-импульса в трубопроводе с рабочей средой.

В качестве примера произведем расчет ослабления СВЧ электромагнитной волны после её распространения в подземном трубопроводе

- Диаметр трубопровода $D = 250$ мм,
- Ослабление в газопроводе $\alpha_{\text{тр}} = 3,5$ дБ/км,
- Ослабление в грунте $\alpha_{\text{гр}} = 5$ дБ/м,
- Ослабление дефектом $\alpha_{\text{деф}} = 68$ дБ,
- Ослабление за счет экранирующего действия трубы $\alpha_{\text{экр}} = 9,5$ дБ.
- $\alpha = \alpha_{\text{тр}} + \alpha_{\text{гр}} + \alpha_{\text{деф}} + \alpha_{\text{экр}} \approx 100$ дБ – полное ослабление электромагнитной волны.

Для возможности определения дефектов на больших расстояниях требуется увеличить мощность генератора СВЧ-энергии. Для увеличения мощности, следует устанавливать генератор на магнетронах.

2.2 Радиоимпульсная рефлектометрия для определения местонахождения гидратных пробок

Суть метода состоит в зондировании линии передачи (волновода) сверхвысокочастотным (СВЧ) импульсом наносекундной длительности с последующей фиксацией времени прохода отраженного от неоднородности импульса к входному концу волновода. Преимуществом данного метода является то, что наряду с пробками в газопроводах могут быть обнаружены и другие инородные объекты, например скребки для механической очистки труб, поршни, снаряды дефектоскопов и т.д.

Применительно к нашей задаче волноводом является трубопровод, а неоднородностью гидратная пробка. Отражение СВЧ импульса от пробки происходит за счет разницы электрофизических параметров (ϵ , $\text{tg}\delta$) рабочей среды газопровода и гидратной пробки. Рабочая среда представляет собой трехкомпонентную газоконденсатную смесь, состоящую из основной компоненты (газа), жидкого углеводородного конденсата в виде мелкодисперсных капель (аэрозоли) и воды – также в виде мелкодисперсных капель. Поскольку диэлектрическая проницаемость газа мала, например, для метана $\epsilon_m = 1,08$ при $P \approx 10$ МПа, то вклад в общую ДП будут вносить ДП газоконденсата и воды. При малых относительных объемах водяной компоненты значение ДП смеси можно принять равным ДП углеводородной компоненты, $\epsilon_{\text{ув}} \approx 2,10$.

В работе [2] представлен лабораторный макет устройства обнаружения инородных объектов внутри трубопроводов. Структурная схема устройства приведена на рисунке 8.

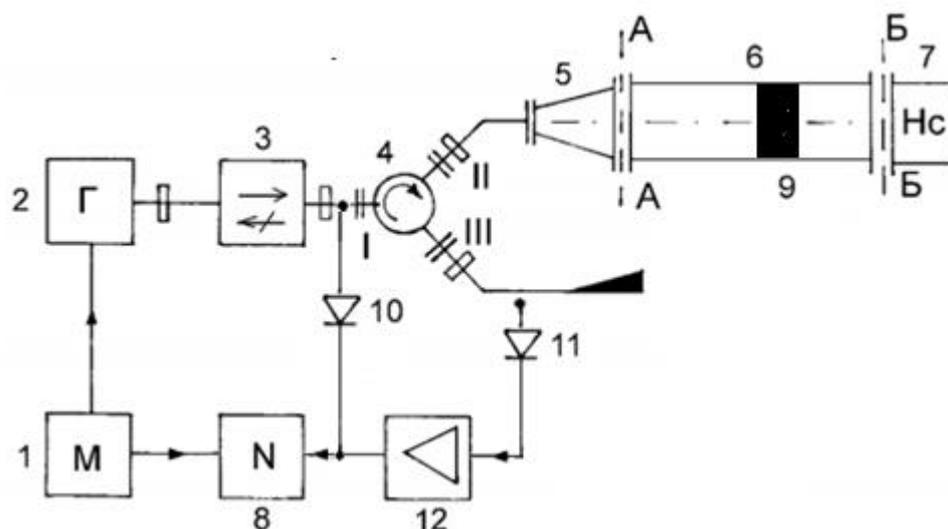


Рисунок 8 - Структурная схема устройства диагностики газопроводов радиоволновым методом

1 – модулятор; 2 – СВЧ-генератор; 3 – ферритовый вентиль; 4 – циркулятор; 5 – трансформатор типа волны; 6 – труба-имитатор газопровода; 7 – согласованная нагрузка; 8 – осциллограф; 9 – инородный объект; 10,11 – детекторы; 12 – усилитель.

Сформированный генератором 2 импульс наносекундной длительности через ферритовый вентиль 3 поступает на вход I циркулятора 4 и далее через вход – выход II циркулятора, трансформатор типа волны 5, поступает в контролируемую трубу 6. С детектора 10 сигнал, пропорциональный мощности падающего импульса подается на запуск развертки устройства обработки и отображения информации (осциллографа) 8. Отраженный от инородного объекта 9 импульс возвращается на вход II циркулятора, через вход III проходит в согласованную нагрузку и поглощается в ней. С детектора 11 огибающая отраженного импульса подается на устройство 12, формируя временную метку, отстоящую от начала развертки на время t_1 . Этот интервал равен времени пробега СВЧ импульса до инородного объекта и обратно. Зная скорость распространения СВЧ импульса по трубе (0,3 м/нс), можно определить расстояние от точки ввода СВЧ импульса в трубу до объекта по формуле

$$l_x = \Delta t \cdot V / 2 , \quad (1)$$

где V – скорость распространения СВЧ импульса по трубе.

Для выделения полезного сигнала предварительно записывается эхограмма контролируемого участка трубы, в котором заведомо отсутствуют инородные объекты. Эхограмма представляет собой зарегистрированную цифровым осциллографом и обработанную сопряженным с ним компьютером последовательность импульсов, отраженных от изгибов, запорной арматуры, стыков газопровода. По мере необходимости производят сравнение этой опорной эхограммы с контрольной, в результате которого выявляется отсутствующий ранее импульс, соответствующий возникающей гидратной

пробке или иному инородному объекту в трубе. Данный способ позволяет отслеживать динамику изменения картины отраженных импульсов, постепенно пополняя банк данных типовых участков отраженной картины, облегчая интерпретацию и повышая ее точность. Вместе с тем появляется возможность отслеживать постоянное и периодическое изменение состояния контролируемого участка трубопровода.

2.3 Генератор на диоде Ганна

Диод Ганна — это полупроводниковый прибор, представляющий из себя слой AsGa с контактами с двух сторон, преобразующий энергию постоянного напряжения в энергию сверхвысокочастотных колебаний в результате возникновения в полупроводнике доменов, с увеличенной напряженности электрического поля.

Свойства диодов Ганна определяются процессами, которые возникают в объеме полупроводника с электронной проводимостью, что отличает их от туннельных, лавинно-пролетных и других диодов, свойства которых характеризуются явлениями, возникающими в $p-n$ -переходах.

Аномальная зависимость скорости электронов от напряженности электрического поля в некоторых полупроводниковых соединениях используется для генерации и усиления колебаний СВЧ диапазона. Потребность в подобных источниках СВЧ колебаний, обладающих малыми габаритами и массой, повышенной надёжностью, сравнительно простой конструкцией, предъявляющих в большинстве случаев пониженные требования к источникам питания, в современной радиоэлектронике весьма велика.

Необходимыми элементами конструкции диодного генератора являются:

- резонатор, связанный с диодом и нагрузкой;

- устройство связи нагрузки с резонатором;
- СВЧ трансформатор сопротивлений;
- цепи питания диода с ФНЧ.

Обобщённая структурная схема диодного генератора представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 - Обобщённая структурная схема диодного генератора
 В лабораторной установке в генераторе установлен диод Ганна 3А715И
 В качестве СВЧ генератора для макета дефектоскопа выбран диод Ганна типа 3А715И.

Основные технические параметры диода Ганна 3А715И:

- Диапазон рабочих частот 10,0-11,5 ГГц;
- Выходная мощность 300 мВ;
- Постоянный рабочий ток 1,5 А;
- Постоянное рабочее напряжение 9,5-10,0 В;

2.4 Устройство генераторов на диоде Ганна (ГДГ)

Резонаторная система ГДГ может быть сформирована на основе любой длинной линии: коаксиальной, волноводной, полосковой. На рисунке 10 показаны схематично эскизы коаксиальной и волноводной конструкций ГДГ.

Подвижные короткозамкватели (рисунок 10) служат для механической перестройки частоты колебаний.

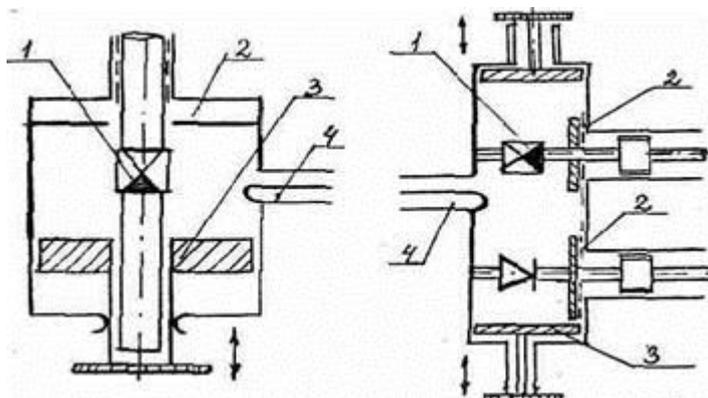


Рисунок 10 - Эскизы коаксиальной и волноводной конструкций ГДГ:

1 – диоды; 2 – элементы блокировки источника напряжения от СВЧ-колебаний;
3 – настроечный поршень; 4 – вывод энергии

На рисунке 11 показан в разрезе исследуемый генератор сантиметрового диапазона на серийном диоде Ганна. В стандартном зауженном волноводе размером $23 \times 5 \text{ мм}^2$ между серединами широких стенок располагается диод 1. Положительный вывод диода посредством цангового устройства 2 соединяется с волноводом, который, кроме своего основного предназначения, выполняет функции радиатора. Для подключения источника постоянного напряжения во второй широкой стенке волновода имеется отверстие, через которое проходит вывод от катода диода. Для предотвращения попадания СВЧ сигнала в цепь питания применен фильтр низких частот, состоящий из емкости 3 и индуктивности проводника 4. Перестройка частоты ГДГ осуществляется поршнем 5. [2]

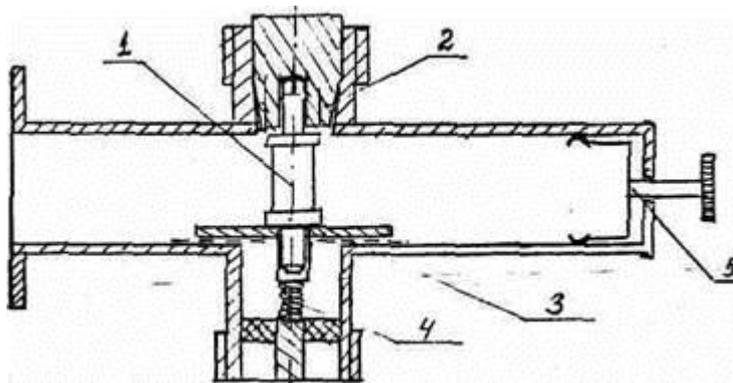


Рисунок 11 - Исследуемый генератор сантиметрового диапазона на серийном диоде Ганна в разрезе

2.5 Ферритовый вентиль

Ферритовый вентиль — СВЧ-устройство с односторонним прохождением электромагнитной волны, то есть с очень малым затуханием волны, проходящей в одном направлении, и очень большим — для волны обратного направления.

В прямоугольном волноводе, работающем на волне H_{10} , существуют две продольные плоскости $x = \text{const}$, параллельные узкой стенке волновода, где магнитное поле имеет круговую поляризацию. Эти плоскости находятся на расстоянии x :

$$x = \frac{a}{\pi} \cdot \text{arctg} \left(\frac{\lambda_g}{2 \cdot a} \right)$$

от узких стенок волновода.

Направление вращения вектора H в каждом из указанных продольных сечений взаимно противоположно и зависит от направления движения волны по волноводу. Поместим в волноводе в одной из двух указанных плоскостей ферритовую пластинку, намагниченную перпендикулярно широкой стенке волновода. Если напряжённость постоянного магнитного поля выбрать равной или близкой к величине $H_{\text{рез}}$, то феррит поглощает мощность волны, создающей правополяризованное высокочастотное магнитное поле. Волна,

распространяющаяся вдоль волновода в противоположном направлении , испытывает малое затухание. Серийно выпускаемые ферритовые вентили обеспечивают в полосе частот $10...15\% f_0$ затухание в прямом направлении не более 0,5 дБ, затухание в обратном направлении 20 дБ и имеют $K_{ст}=1,08...1,1$ ($K_{ст}$ - коэффициент стоячей волны).

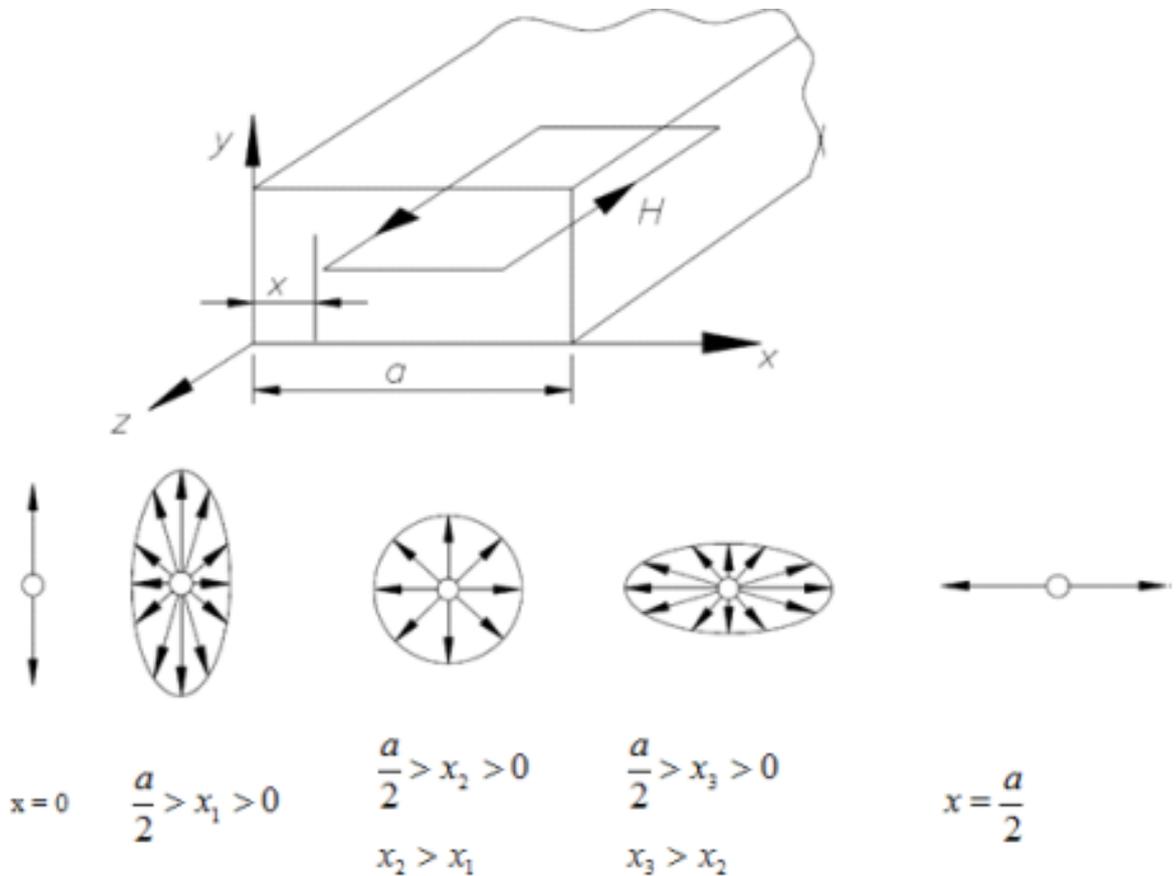


Рисунок 12 - К рассмотрению областей с круговой поляризацией магнитного поля волны H_{10} в различных сечениях прямоугольного волновода

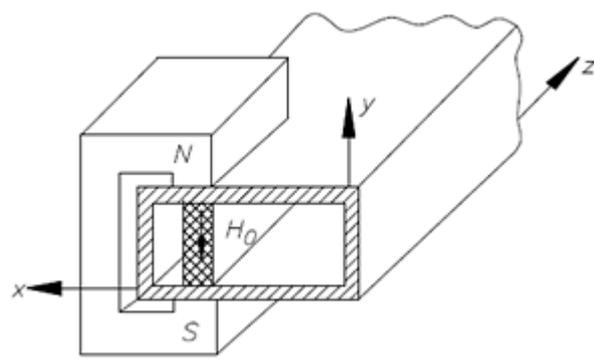


Рисунок 13 - Эскиз конструкции резонансного вентиля

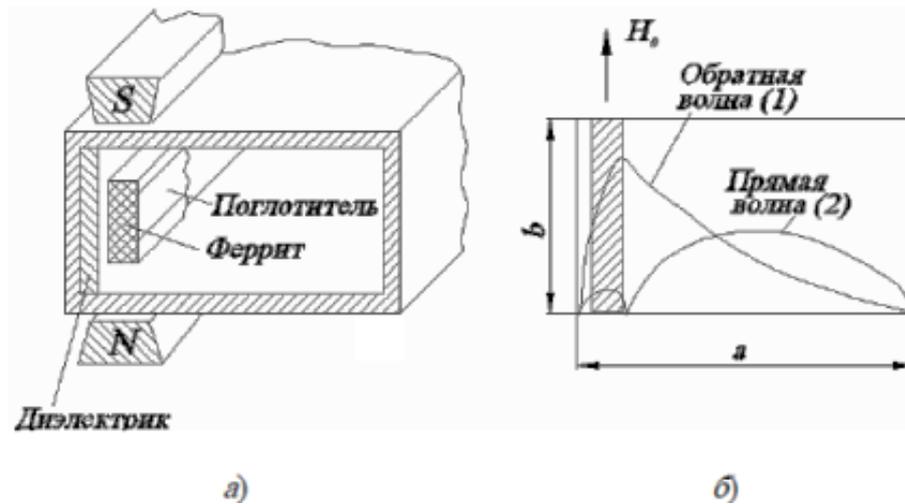


Рисунок 14 - Вентиль со смещением поля: а - эскиз конструкции; б - распределение напряжённости электрического поля

Вентиль, основанный на эффекте Фарадея (рисунок 15), представляет собой круглый волновод, вдоль оси которого расположен тонкий ферритовый стержень, намагниченный в продольном направлении постоянным магнитным полем H_0 . Напряжённость магнитного поля H_0 значительно ниже резонансной величины $H_{рез}$.

На входе вентилья расположена поглощающая пластина. Если в волноводе распространяется волна типа H_{11} с поляризацией, показанной на рисунке 14 а, поглощающая пластина создаёт минимальные потери для волны, поступающей со стороны входа вентилья. За счёт эффекта Фарадея плоскость поляризации волны на выходе вентилья поворачивается на 45° (при соответствующем подборе длины и диаметра ферритового стержня) [6].

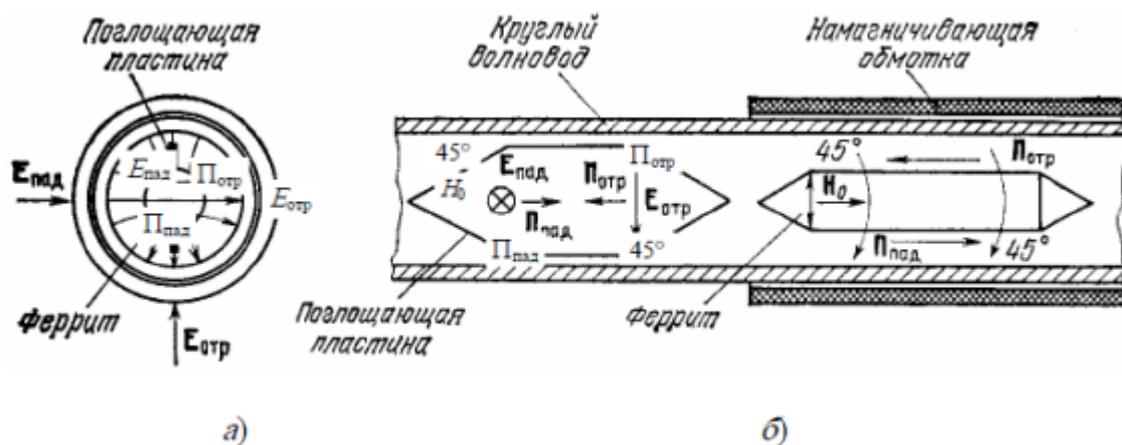


Рисунок 15 - Вентиль на эффекте Фарадея: а - элементы конструкции; б - распределение электрического поля на входе вентили

Плоскость поляризации волны обратного направления поворачивается в ту же сторону еще на 45° . В результате электрическое поле отражённой волны оказывается параллельно плоскости поглощающей пластины. Отражённая волна практически полностью поглощается.

Достоинством ферритовых устройств, основанных на использовании эффекта Фарадея, является малая величина намагничивающего поля H_0 . Полоса рабочих частот таких устройств составляет $15...20\% f_0$. Недостатки: сложность и громоздкость конструкции.

2.6 Циркулятор

Ферритовый циркулятор – это трех или четырех плечевое устройство СВЧ, в котором ЭМВ движется по кругу, то есть (1-2-3-4-1) из первого плеча попадает только во второе, из второго только в третье и т.д. На рисунке представлен Y – циркулятор, который представляет собой H – плоскостное сочленение прямоугольных волноводов, в центре которого помещен ферритовый цилиндр.

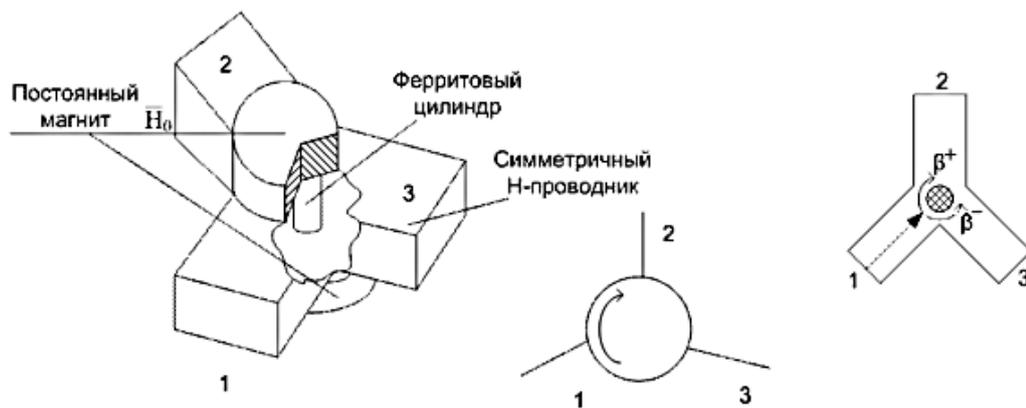


Рисунок 15 - Циркулятор Y – типа.

Все плечи циркулятора рассчитаны на одноволновый режим работы на волне H_{10} . Ферритовый цилиндр намагничен поперечно. В первое плечо подается волна, в результате дифракции на цилиндре возникают две волны, которые огибают цилиндр в разных направлениях. Намагниченный цилиндр является анизотропной средой и магнитная проницаемость этих двух волн будет различной, коэффициенты фаз и фазовые скорости у них будут разными. Эти волны проходят одинаковый путь l , вдоль поверхности цилиндра и получают разный фазовый сдвиг. В результате на поверхности цилиндра установится стоячая волна.

При определенной частоте, путем подбора марки феррита и его диаметра добиваются того, чтобы по окружности цилиндра укладывалась одна волна с двумя узлами. Положение узлов и пучностей зависит от H_0 , величину которого подбирают так чтобы один из узлов стоячей волны напряженности электрического поля располагался напротив плеча 3, а пучность напротив плеча 2, тогда плечо 2 возбуждается, а плечо 3 нет. Таким образом циркуляция волны будет такой 1-2-3-1. [7]

2.7 Трансформатор типа волны

Для возбуждения электромагнитной волны в трубопроводе, следует применить специальное устройство. Так как структуры волн H_{10} и H_{11} схожи:

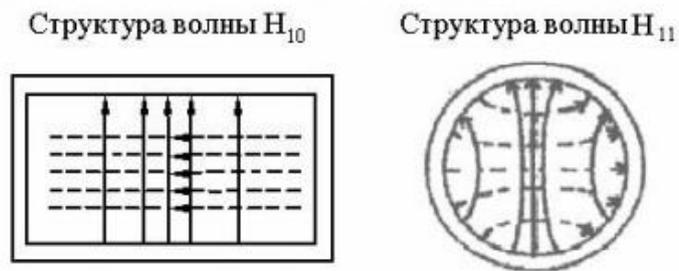


Рисунок 16 - Сравнение структуры полей волны H_{10} в прямоугольном волноводе и волны H_{11} в круглом волноводе.

Для соединения СВЧ-трактов различной формы применяется специальный волновой переход для трансформации типа волны:



Рисунок 17 - Волноводный переход от прямоугольного к круглому.

2.8 СВЧ детектор

Для индикации сигналов низкой мощности успешно используются полупроводниковые диоды. Детектирование осуществляется благодаря нелинейности ВАХ электронного прибора. В полупроводниковых интегральных схемах для детектирования применяются СВЧ транзисторы. Для использования детекторного диода в качестве детектора слабых сигналов, его выходные контакты подключаются к прибору постоянного тока или ко входу усилителя низкой частоты или видеоусилителя, в зависимости от применяемой модуляции. Тип индикаторного прибора, используемого после детектора, не влияет на основные характеристики детектора слабых сигналов. Для простоты рассуждений представим себе схему, состоящую из сопротивления нагрузки и прибора постоянного тока, включённых последовательно с детектором. Под действием СВЧ сигнала в цепи нагрузки появляется постоянный ток, величина которого будет зависеть от ВАХ детектора, полного сопротивления источника

высокой частоты и сопротивления нагрузки по постоянному току. Если смотреть со стороны выходных зажимов, то детектор действует как генератор тока с определённым сопротивлением.

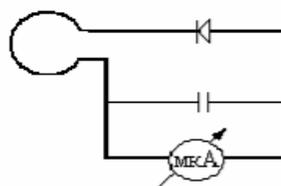


Рисунок 18 - Диодный индикатор.

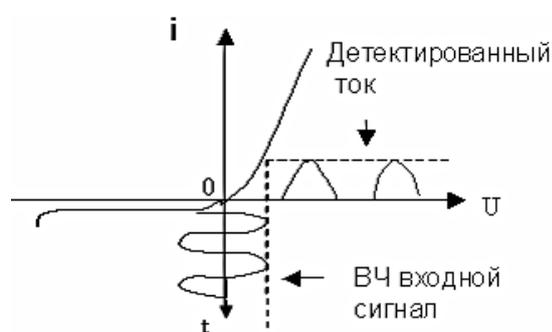


Рисунок 19 - Процесс детектирования.

Наиболее простым, но при этом мало чувствительным, является индикатор с непосредственным отсчетом (рисунок 18). В петле, которая ориентирована соответствующим образом, электромагнитное поле наводит ток высокой частоты. Этот ток детектируется (рисунок 19) и подаётся на чувствительный прибор, зашунтированный конденсатором C . Размеры петли должны быть не больше половины длины волны. Для повышения чувствительности индикаторов требуется усиление сигнала, получаемого с детекторного диода. Просто и надёжно это можно сделать, если промодулировать амплитуду напряжённости высокочастотного поля.

В лабораторной установке применен детекторный диод Д604.

Основные технические параметры СВЧ диода Д604:

- Диапазон длин волн 2,7–4см;
- Чувствительность по току: не менее 2,5 А/Вт;

- Добротность: не менее 35 Вт;
- Выходное шумовое отношение: не более 8;
- Коэффициент стоячей волны по напряжению: не более 2;
- Рассеиваемая мощность: 10 мВт;
- Импульсная рассеиваемая мощность: 300 мВт;
- Температура окружающей среды: -60...+100°C

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и так далее.

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

4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В таблице 1 представлена оценочная карта для сравнения конкурентоспособных решений $B_{к1}$ – «Uniscop» - система акустоэмиссионного контроля трубопроводов, $B_{к2}$ – «CalScan» - снаряд для внутритрубной инспекции.

Критерии оценки	Вес критерии и	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,13	5	3	2	0,65	0,39	0,26
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
3. Помехоустойчивость	0,05	5	2	5	0,25	0,1	0,25
4. Энергоэкономичность	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
5. Надежность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Уровень шума	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2
7. Безопасность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	5	3	3	0,1	0,06	0,06
9. Простота эксплуатации	0,08	5	5	4	0,4	0,4	0,32
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
11. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,03	4	5	2	0,12	0,15	0,06
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Цена	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,15
6. Финансирование научной разработки	0,01	4	5	5	0,04	0,05	0,05
7. Срок выхода на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
8. Наличие сертификации разработки	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
Итого	1				4,86	4,33	4,09

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:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод:

Уязвимостью продукции конкурентов является низкая производительность, простота и удобство эксплуатации устройств диагностики оборудования по сравнению с радиоволновым дефектоскопом.

Конкурентное преимущество разработки обеспечивает метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов, на котором она основывается. Особенности метода радиоволновой дефектоскопии трубопроводов такие, как непрерывный мониторинг трубопроводов, возможность диагностики в труднодоступных местах (вблизи строительных сооружений, железнодорожных путей, населенных пунктов и т.д.), обнаружение и устранение гидратных пробок. Возможность проведения диагностики газопроводов в процессе их эксплуатации является основным преимуществом перед устройством внутритрубной инспекции.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения.

В первую очередь определяется полный перечень проводимых работ, а также продолжительность на каждом этапе, представлено в таблице 8. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю. В таблице 9 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 10. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Код работы (из ИСР)	Вид работы	Длит., дни	Срок выполнения	Исполнители
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	7	11.2015	НР
2	Ознакомление с литературой по вопросу радиоволновых методов неразрушающего контроля	20	12.2015	И
3	Анализ современных методов дефектоскопии трубопроводов	10	02.2016	И
4	Составление структуры диссертации	6	02.2016	НР, И
5	Анализ метода радиоволновой дефектоскопии трубопроводов	15	03.2016	И
6	Выбор элементов лабораторного макета радиоволнового дефектоскопа	5	04.2016	НР, И
7	Разработка лабораторного макета	15	05.2016-07.2016	НР, И
8	Проведение экспериментов	20	08.2016-10.2016	И
9	Анализ экспериментальных данных	10	11.2016	И
10	Разработка структурной и принципиальной электрической схемы измерительной части	20	12.2016-02.2017	НР, И

	радиоволнового дефектоскопа			
11	Составление диссертации	29	02.2017- 05.2017	И

Таблица 9– График трудоемкости ресурсов

Таким образом, у исполнителя трудоемкость разработки составила 159 дней, а у руководителя – 53 дня. Далее представлена диаграмма Гантта, которая используется для наглядно иллюстрации линейного календарного плана проекта.

Таблица 10 Календарный план график

Код работы (из ИСР)	Исполнитель	Т _{вып.} , дн.	Продолжительность выполнения работ																			
			2015 г.			2016 г.														2017 г.		
			Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май
1	НР, И	7	■																			
2	И	20		■	■																	
3	И	10				■	■															
4	НР, И	6					■															
5	И	15						■														
6	НР, И	5							■													
7	НР, И	15								■	■	■										
8	И	20										■	■	■								
9	И	10													■							
10	НР, И	20														■	■					
11	И	29																■	■	■	■	■

■ —исполнитель. ■ —руководитель.

4.3 Заключение по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”

В данном разделе была определена структура работ, из которой видно, что основными исполнителями исследования являются студент и его научный руководитель. Также была построена диаграмма Гантта, из которой видно, что исследование продолжалось с сентября 2015 года по май 2017 года, и на ней показано распределение участия в исследовании исполнителей (студент и научный руководитель). Основное время разработки измерителя заняла экспериментальная часть, что также отражается в диаграмме Гантта. Также была определена конкурентоспособность измерителя, в результате чего, можно сделать вывод, что по техническим и экономическим показателям, а также из-за отсутствия бесконтактных аналогов, он конкурентоспособен. Это в очередной раз подтверждает актуальность выбора темы диссертации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Шабуров Д. Ш. Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов / Д. Ш. Шабуров ; науч. рук. В. П. Шиян // Неразрушающий контроль : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [3 с.].

2. Шабуров Д. Ш. Радиоволновая дефектоскопия трубопроводов / Д. Ш. Шабуров ; науч. рук. В. П. Шиян // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 231-234].