

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Вихретоковый дефектоскоп для контроля стальных бурильных труб в процессе производства |

УДК _620.179.14

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 1БМ5Б | Мэн Циньян | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Гольдштейн А.Е. | д.т.н., профессор | | |

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 |
|-------------------------------------|---------------|----------------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой ФМПК, профессор | Суржиков А.П. | Профессор, Доктор физ.-мат. наук | | |

Планируемые результаты обучения по программе 1БМ5Б (магистратура)

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|----------------|---|
| | <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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| | <i>Универсальные компетенции</i> |
| P7 | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности |
| P8 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы |
| P9 | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности |
| P10 | Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду |
| P11 | Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности |

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



Институт Неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---|
| Магистерской диссертации |
| <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small> |

Студенту:

| | |
|--------|------------|
| Группа | ФИО |
| 1БМ5Б | Мэн Цинъян |

Тема работы:

| | |
|--|-----------------------|
| Вихретоковый дефектоскоп для контроля стальных бурильных труб в процессе производства | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 15.12.2015 №9728/С |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2017 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | | | | | | | | | |
|---|--|---|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|---|--------------------------------|--|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <table border="1"> <tr><td>1.Изменение зазора 0.5 ... 2 мм</td></tr> <tr><td>2. Диаметр трубы 62..79 мм</td></tr> <tr><td>3. Длина трубы 5.9 ... 6.3 м</td></tr> <tr><td>4. Толщина стенки 4...6 мм</td></tr> <tr><td>5. Материал сталь 36Г2С</td></tr> <tr><td>6.Протяжённость 8мм</td></tr> <tr><td>7. Глубина дефекта 0.2 ...3 мм</td></tr> <tr><td>8. Погрешность измерения глубины искусственного дефекта не более 15%</td></tr> </table> | 1.Изменение зазора 0.5 ... 2 мм | 2. Диаметр трубы 62..79 мм | 3. Длина трубы 5.9 ... 6.3 м | 4. Толщина стенки 4...6 мм | 5. Материал сталь 36Г2С | 6.Протяжённость 8мм | 7. Глубина дефекта 0.2 ...3 мм | 8. Погрешность измерения глубины искусственного дефекта не более 15% |
| 1.Изменение зазора 0.5 ... 2 мм | | | | | | | | | |
| 2. Диаметр трубы 62..79 мм | | | | | | | | | |
| 3. Длина трубы 5.9 ... 6.3 м | | | | | | | | | |
| 4. Толщина стенки 4...6 мм | | | | | | | | | |
| 5. Материал сталь 36Г2С | | | | | | | | | |
| 6.Протяжённость 8мм | | | | | | | | | |
| 7. Глубина дефекта 0.2 ...3 мм | | | | | | | | | |
| 8. Погрешность измерения глубины искусственного дефекта не более 15% | | | | | | | | | |
| <p>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></p> | <table border="1"> <tr><td>1. Обзор существующих методов и средств измерения глубины дефектов.</td></tr> <tr><td>2. Вихретоковый метод дефектоскопии.</td></tr> <tr><td>3. Экспериментальные исследования.</td></tr> <tr><td>4. Структурная схема дефектоскопа</td></tr> <tr><td>5. Разработка алгоритма и программы вычислительного преобразования</td></tr> <tr><td>6. Метрологическое обеспечение дефектоскопа</td></tr> </table> | 1. Обзор существующих методов и средств измерения глубины дефектов. | 2. Вихретоковый метод дефектоскопии. | 3. Экспериментальные исследования. | 4. Структурная схема дефектоскопа | 5. Разработка алгоритма и программы вычислительного преобразования | 6. Метрологическое обеспечение дефектоскопа | | |
| 1. Обзор существующих методов и средств измерения глубины дефектов. | | | | | | | | | |
| 2. Вихретоковый метод дефектоскопии. | | | | | | | | | |
| 3. Экспериментальные исследования. | | | | | | | | | |
| 4. Структурная схема дефектоскопа | | | | | | | | | |
| 5. Разработка алгоритма и программы вычислительного преобразования | | | | | | | | | |
| 6. Метрологическое обеспечение дефектоскопа | | | | | | | | | |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | | | | | | | | | |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p> | | | | | | | | | |
| Раздел | Консультант | | | | | | | | |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> | Николаенко В.С. ассистент каф. Менеджмента | | | | | | | | |
| Социальная ответственность | Анищенко Ю. В. к.т.н, доцент | | | | | | | | |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | 22.09.2015г. | | | | | | | | |

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой, профессор д.т.н. | Гольдштейн А.Е. | Профессор, д.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 1БМ5Б | Мэн Цинъян | | |

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

Студенту:

| | |
|--------|------------|
| Группа | ФИО |
| 1БМ5Б | Мэн Цинъян |

| | | | |
|---------------------|--|---------------------------|--|
| Институт | институт неразрушающего контроля | Кафедра | кафедра физических методов и приборов контроля качества |
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | Приборостроение |

| | |
|--|---|
| Исходные данные к разделу «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»: | |
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческие | Стоимость материальных ресурсов определялась по г. Томску Оклады в соответствии с окладами с окладами сотрудников НИ ТПУ |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1 | Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ |
| 2 | Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок |
| 3 | Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности |
| 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 | Мэн Цинъян | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|--------|------------|
| Группа | ФИО |
| 1БМ5Б | Мэн Цинъян |

| | | | |
|------------------------|--|---------------------------|--|
| Институт | институт неразрушающего контроля | Кафедра | кафедра физических методов и приборов контроля качества |
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | Приборостроение |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| 1. Характеристика объекта исследования и области его применения | Объект исследования: измеритель глубины дефектов бурильных труб. Оборудование для проведения исследований: дефектоскоп вихретоковый, индуктивные датчики расстояния, источник постоянного тока, мультиметр, компьютер, модуль ЦАП/АЦП |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 2 Производственная безопасность 2.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 2.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения | Вредные факторы: - повышенный уровень электромагнитного и электростатического полей. - повышенный уровень шума. - недостаточная освещённость. Опасные факторы: - опасность поражения электрическим током. |
| 3 Экологическая безопасность | Вредных факторов оказывающих негативное влияние на окружающую среду при разработке устройства не наблюдается. |
| 4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС | Вероятны следующие ЧС: пожар. |
| 5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. | К исследовательской работе допускаются беременные женщины и люди имеющие болезни связанные с дыхательной системой |
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-----------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Анищенко Юлия владимировна | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 1БМ5Б | Мэн Цинъян | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120 с., 58 рис., 27 табл., 21 источников, 1 прил.

Ключевые слова: дефектоскоп, бурильные трубы, зазор, вихретоковый преобразователь, глубина дефектов.

Объектом исследования являются дефектоскоп бурильных труб.

Цель работы – проанализировать существующие методы и средства обнаружения дефектов бурильных труб, проанализировать возможность применения накладного вихретокового преобразователя, разработать структурную схему вихретокового дефектоскопа, провести экспериментальное исследование вихретокового метода и разработать прибор для обнаружения дефектов бурильных труб.

Методология проведения работы и аппаратура: определение зависимости амплитуды выходного напряжения вихретокового преобразователя от глубины дефектов и зазора, выбор оптимального преобразователя, проектирование и разработка вихретокового дефектоскопа с использованием LABView.

В результате исследования доказана возможность использования вихретокового метода для обнаружения дефектов бурильных труб. Получены зависимости выходного сигнала вихретокового преобразователя от зазора и глубины дефектов бурильных труб, доказана возможность отстройки от влияния зазора.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: глубина дефекта: (0,2... 3) мм; диапазон изменения зазора (0,5...2) мм

Степень внедрения: нет.

Область применения: контроль бурильных труб в процессе производства.

Экономическая эффективность/значимость работы: позволит обеспечить эффективное обнаружение дефектов бурильных труб.

В будущем планируется разработать автоматическое обнаружение дефектов бурильных труб.

Оглавление

| | |
|----------|--|
| Введение | 10 |
| 1 | Объект контроля и методы контроля..... 11 |
| 1.1 | Бурильные трубы с приваренными замками..... 11 |
| 1.2 | Требование к контролю буровых труб 12 |
| 1.3 | Магнитный метод..... 13 |
| 1.4 | Акустический метод 21 |
| 1.5 | Радиационный метод 24 |
| 1.6 | Электропотенциальный метод..... 27 |
| 1.7 | Вихретоковый метод..... 29 |
| 1.8 | Выбор метода..... 32 |
| 1.9 | Выбор датчика измерения зазора 33 |
| 2 | Вихретоковый метод дефектоскопии..... 38 |
| 2.1 | Физические основы метода ВТ..... 38 |
| 2.2 | Области применения..... 40 |
| 2.3 | Классификация ВТП 43 |
| 2.4 | Физические основы вихретоковой дефектоскопия 52 |
| 7. | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... 55 |
| 7.1 | Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 55 |
| 7.2 | SWOT-анализ 56 |
| 7.3 | Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования 58 |
| 7.4 | Инициация проекта 58 |
| 7.5 | План проекта..... 60 |
| 7.6.1 | Специальное оборудование для научных работ..... 62 |
| 7.6.2 | Основная заработная плата..... 62 |
| 7.6.3 | Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала и отчисление на социальные нужды..... 64 |

| | | |
|---------------------------------|--|----|
| 7.6.4 | Прочие расходы | 65 |
| 7.6.5 | Накладные расходы | 66 |
| 7.6.6 | Группировка затрат по статьям | 66 |
| 7.6.7 | Оценка сравнительной эффективности исследования..... | 66 |
| СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА..... | | 69 |

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее ответственная часть современного бурового инструмента являются бурильные трубы. Например, в результате обработки статистикой информации было установлено, что большинство аварий (почти 60 %) происходит из-за их поломки. Поэтому очень важно в процессе эксплуатации максимально использовать все резервы для продления срока службы бурильных труб, что снижает стоимость буровых работ. Снижение стоимости буровых работ может быть обеспечено только за счет повышения производительности и качества геологоразведочных работ, которые в основном зависят от надежности и эффективности бурильной колонны.

Разрушение бурильной трубы внутри скважины — это довольно серьезная авария, ликвидация данной аварий весьма ответственная работа, неумелое ведение которой может привести к серьезным поломкам бурового оборудования и вышки, гибели скважины [1]. Одна из основных причин данной аварии – дефект стенки бурильной трубы. Для предупреждения потери проводят контроль наличия дефектов стенки бурильных труб.

Поэтому качество бурильных труб необходимо контролировать и управлять им на всех стадиях технологического процесса производства и эксплуатации. В процессе производства контроль осуществляется от стадии поступления первичного сырья до стадии полного изготовления бурильной трубы.

1 Объект контроля и методы контроля.

1.1 Бурильные трубы с приваренными замками

Стандартом предусмотрены модификации бурильных труб по толщинам стенок, длинам труб, типам приварных замков (с прорезями - П и без прорезей БП, рис.1.1) и видам термообработки.

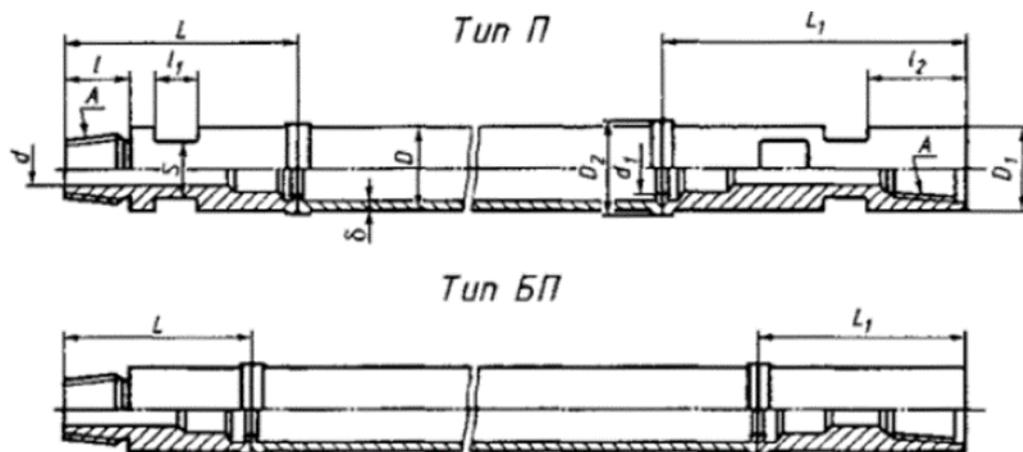


Рис 1.1 Бурильные трубы с приваренными замками

Г - опознавательный поясок для замков с левой резьбой

Типоразмеры стальных труб регламентируются стандартом: наружный диаметр от 43 до 85 миллиметров, толщина стенок от 3.5 до 6.0 миллиметров.

Трубы следует изготавливать из стали 36Г2С, химический состав которой приведен: углерод 0,32 - 0,40; марганец 1,5-1,8; кремний 0,4 - 0,7; хром не более 0,3; никель не более 0,4; сера не более 0,045; фосфор не более 0,040.

По ГОСТ Р 51245-99 наружный диаметр измеряют штангенциркулем ШЦ-2 по ГОСТ 166; толщину стенки трубы - трубным микрометром с пределами измерений 0-25 мм по ГОСТ 6507; внутренний диаметр - нутромером НИ 18-50-1 по ГОСТ 868; линейные размеры - измерительной металлической линейкой по ГОСТ 427; длину - рулеткой РС-10 по ГОСТ 7502; массу определяют на весах для статического взвешивания среднего класса точности НПВ-300 кг по ГОСТ 29329.

1.2 Требование к контролю бурильных труб

Все операции неразрушающего контроля, предусмотренные настоящим стандартом (кроме визуального контроля), должны быть выполнены персоналом, аттестованным в соответствии со стандартом ИСО 11484 или ASNTSNT-TC-1A.

Контролируемые поверхности подвергают механической обработке и/или шлифованию до проведения контроля.

Если это указано в заказе, то неразрушающий контроль зоны сварного соединения, проводимый представителем потребителя, и/или контроль в присутствии представителя потребителя проводят в соответствии с приложением С (ГОСТ Р 54383-2011).

Контроль, проводимый по неразрушающим контроля бурильных труб на оборудовании, калиброванном по указанным искусственным дефектам, не должен рассматриваться как обеспечивающий обязательное соответствие изделия требованиям, установленным в разделе 6.12 ГОСТ Р 5438-2011.

Изготовитель должен установить необходимую периодичность проверки оборудования неразрушающего контроля для того, чтобы подтвердить соответствие изделий требованиям настоящего стандарта.

Для обнаружения дефектов бурильных труб применяются различные методы и средства, в том числе, магнитный, ультразвуковой, радиационный, электропотенциальный, вихретоковый [2].

1.3 Магнитный метод

Принцип работы магнитной дефектоскопии. Магнитная дефектоскопия представляет собой комплекс методов неразрушающего контроля, применяемых для обнаружения дефектов в ферромагнитных металлах (железо, никель, кобальт и ряд сплавов на их основе).

Намагничивание осуществляется пропусканием тока по детали, созданием магнитного поля вокруг детали магнитом или электромагнитом.

Простым способом создания магнитного потока является пропускание тока плотностью 15—20 А/мм по виткам сварочного провода, наматываемого тремя — шестью витками на изделие. Для намагничивания лучше применять постоянный ток.

Магнитному виду контроля подвергаются только ферромагнитные материалы. Этот вид контроля составляют следующие методы:

- 1) индукционный;
- 2) магнитоферрозондовый;
- 3) метод эффекта Холла;
- 4) магнитопорошковый.

Индукционный метод основан на явлении самоиндукции. Если электрическую катушку, замкнутую на гальванометр или милливольтметр, быстро пронести над металлом, в котором имеется наружный дефект, то над дефектом возникает неоднородность электромагнитного поля в катушке, которая образует слабую электродвижущую силу (ЭДС) в ней. Эта ЭДС, индуцируемая прибором, и является признаком дефекта. Этот метод использовался на железной дороге при строительстве первых вагонов-дефектоскопов.

В результате намагничивания объекта контроля над дефектом образуется собственное магнитное поле – поле рассеяния (рис. 1.2). Поле рассеяния образуется за счет того, что в таких условиях дефект сам по себе превращается в небольшой магнит с полюсами на краях, между которыми

возникает пучок магнитных силовых линий, частично выступающий над поверхностью объекта. Эти методы различаются между собой по способу выявления полей рассеяния над дефектами (табл. 1.3.1).

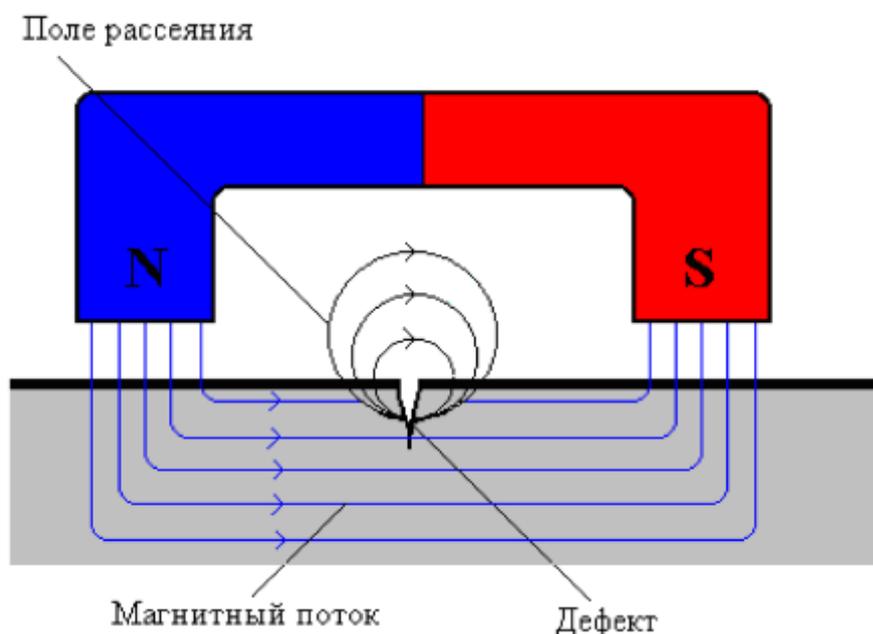


Рис. 1.2 Поле рассеяния над дефектом

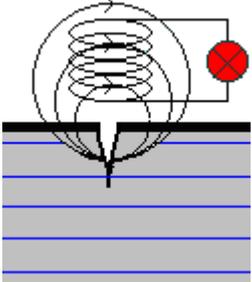
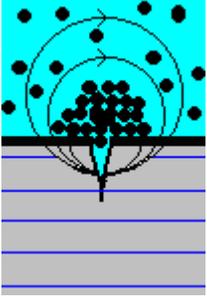
Магнитоферрозондовый метод широко применяется на железной дороге для контроля рельсовых звеньев.

Метод эффекта Холла (рис. 1.3) нашел применение для контроля стальных канатов. Датчик Холла (пластина Холла, рис. 1.3, а) представляет собой прямоугольную пластину из полупроводникового материала (например, арсенида галлия).

В направлении А–В течет постоянный ток I (управляющий ток). Эффект Холла состоит в том, что при попадании в пластину локального магнитного поля в ней происходит искривление пути носителей электрических зарядов (т.е. траектории управляющего тока), что вызывает образование разности потенциалов между гранями С и D, т.е. возникновение электродвижущей силы E в цепи индикатора (рис. 1.3, б). Исполнительный орган (магнитная головка) средства контроля объектов методом Холла обобщенно представляет собой конструкцию, схематически показанную на рис. 1.4. Объект перемещается

относительно такой головки, и в случае попадания под нее дефекта на выводах пластины Холла возникает импульс ЭДС, регистрируемый прибором.

Таблица 1.3.1 Активные методы магнитного контроля

| Метод | Краткое описание | Эскиз |
|----------------------|--|--|
| Магнитоферрозондовый | Поле рассеяния над дефектом возбуждает ЭДС в датчике - катушке, замкнутой на индикатор |  |
| Магнитопорошковый | При поливе поверхности магнитопорошковой суспензией поле рассеяния над дефектом стягивает на себя частицы черного магнитного порошка |  |
| Метод эффекта Холла | Поле рассеяния над дефектом вызывает отклонение траектории электрического тока в пластине Холла | См. рис. 1.3 и рис. 1.4 |

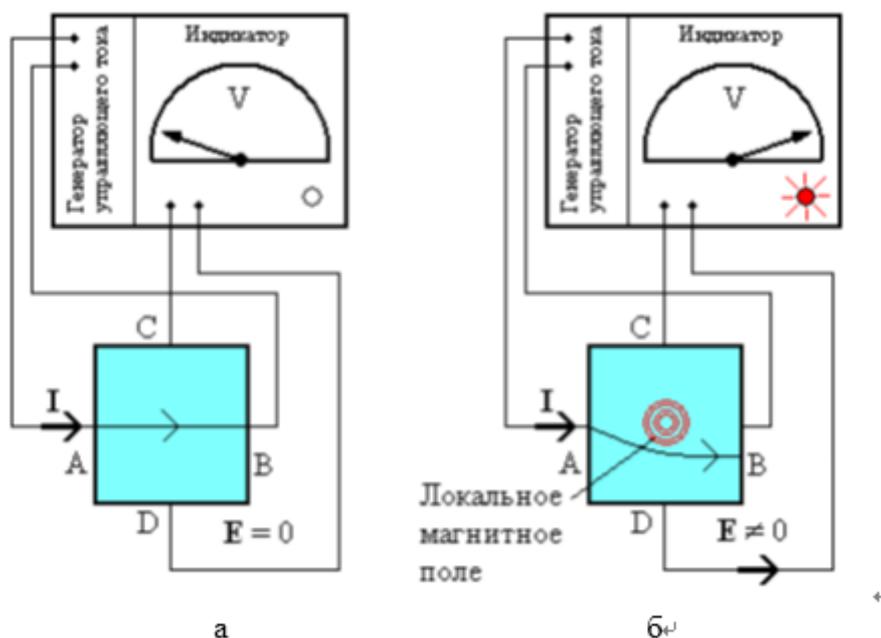


Рис. 1.3 Основной принцип пластины Холла:

а – магнитное воздействие отсутствует;

б – влияние локального магнитного поля

Наиболее популярные методы являются магнитопорошковый метод, при котором слабо-раскрытые дефекты визуализируются за счет того, что на них образуются валики черного магнитного порошка, которые в несколько раз шире дефекта и потому различимы глазом. Классификация чувствительности магнитопорошкового метода по трем уровням, которым приведены в табл. 1.3.2.

Таблица 1.3.2 Классификация чувствительности магнитопорошкового контроля

| Уровень чувствительности | Требования к подготовке поверхности | | Раскрытие выявляемых дефектов, мкм |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | Шероховатость, не грубее | Освещенность, лк, не менее | |
| А | $Rz\ 2,5$ | 1000 | От 2,5 и более |
| Б | $Rz\ 40$ | 750 | От 10 и более |
| В | Не обработанная | 500 | От 25 и более |

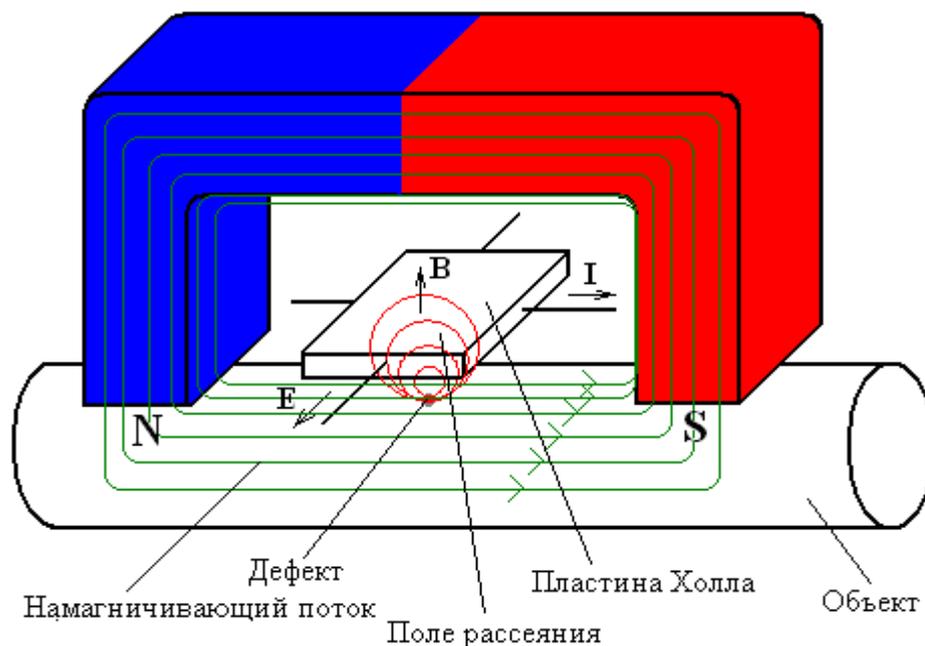


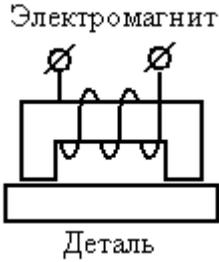
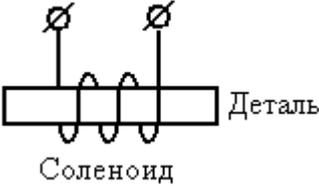
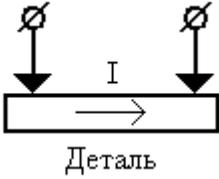
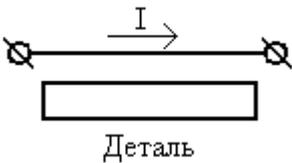
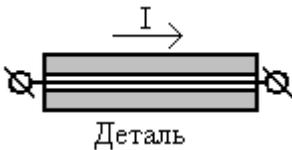
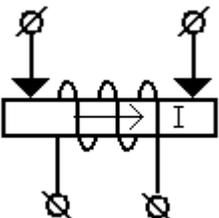
Рис. 1.4 Схематическое представление конструкции магнитной головки прибора для контроля изделий методом

Виды и способы намагничивания деталей и объектов показаны в табл. 1.3.3. Эти виды и способы выбирают в зависимости от формы и размеров контролируемой детали (объекта), типа намагничивающего устройства и предполагаемой преимущественной ориентации ожидаемых дефектов (лучше всего выявляются дефекты, ориентированные перпендикулярно магнитному потоку).

На ферромагнитных материалах магнитопорошковый метод предпочтителен по сравнению с капиллярным, так как более оперативен и прост в применении [3].

Таблица 1.3.3 Виды и способы намагничивания

| Вид намагничивания | Способ | Схема | Преимущественная ориентация выявляемых дефектов |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|---|
| Продольное намагничивание (полюсное) | С использованием постоянного магнита | | Поперечные дефекты |

| | | | |
|------------------------------|--|--|--------------------------|
| | С использованием электромагнита |  | |
| | С использованием соленоида |  | |
| Циркулярное намагничивание | Пропускание тока по детали |  | Продольные дефекты |
| | Пропускание тока по проводу |  | Дефекты вдоль провода |
| | Пропускание тока по проводу в отверстия детали |  | Дефекты вдоль провода |
| Комбинирован. намагничивание | Пропускание тока по детали и использование соленоида |  | Дефекты любой ориентации |

Оценка

Магнитные методы отличаются высокой чувствительностью к тонким и мелким трещинам, простотой выполнения, оперативностью и наглядностью результатов.

К недостаткам метода можно отнести сложность определения глубины распространения трещин в металле и сильную зависимость чувствительности от шероховатости поверхности контролируемой детали (особенно для магнитопорошкового). С увеличением шероховатости чувствительность метода

снижается. Наиболее чувствительный магнитопорошковый метод отличается низкой производительностью и высокой трудоемкостью.

Прибор

Дефектоскоп МД-7 (на рис 1.5) на постоянных магнитах предназначен для намагничивания отдельных участков деталей и изделий из ферромагнитных материалов при контроле магнитопорошковым методом способом приложенного поля по ГОСТ 21105 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод». Магнитный дефектоскоп МД-7К выпускается в двух модификациях: МД-7 – со сменными полюсными наконечниками и МД-7К – без сменных полюсных наконечников [4].

В комплект намагничивающего устройства МД-7 входят приспособления для нанесения суспензии и осмотра, размещенные в чемодане контейнере. Также в комплект входит образец МПД с искусственными дефектами и дефектограммой (принцип основан на сравнении индикаторного рисунка (осаждения порошка) на образце с рисунком на дефектограмме).

Отличительные особенности дефектоскопа магнитного МД-7К:

- возможность контроля изделий сложной формы;
- наличие жесткого (шарнирного) и гибкого магнитопроводов;
- возможность смены полюсных наконечников (для модификации МД-7);
- простота в эксплуатации.



Рис 1.5 Внешний вид дефектоскоп МД-7

Таблица 1.3.4 Технические характеристики МД-7

| Параметр | Характеристика |
|---|--------------------|
| Напряженность магнитного поля в центре между полюсами | не менее 400 А/см |
| Расстояние между полюсами | не менее 60 мм |
| Электрическое питание | отсутствует |
| Диапазон рабочих температур | от – 10 до + 50 °С |

1.4 Акустический метод

Направление акустических волн не изменяется в однородном материале. На границе раздела сред с различными акустическими свойствами происходит отражение и преломление волн. Поэтому включения в металле (непровары, поры и т.п.) вследствие нарушения процесса сварки, литья, термообработки вызывают изменения направления акустических волн.

Разрешающая способность ультразвукового метода определяется длиной звуковой волны, которая зависит от частоты акустических колебаний. Чем больше частота, тем меньше длина волны. Обнаруживаются дефекты, превышающие по размеру четверть длины волны, поэтому частоту волн следует повышать. Однако с ростом частоты возрастает затухание волн, что уменьшает контролируемую глубину. Поэтому для стали выбирают частоты в диапазоне от 0,5 МГц до 10 МГц.

Ультразвуковой метод контроля. На рис. 1.6 показана схема акустического контроля. Ультразвуковые волны распространяются вдоль акустической оси передатчика (верхнего преобразователя) [5].

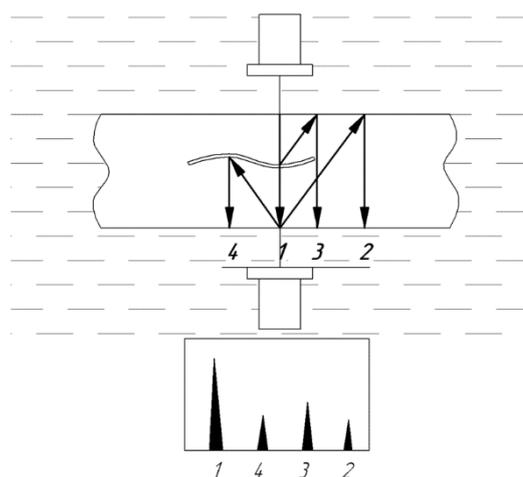


Рис.1.6 Принцип работы ультразвукового метода

Оценка

Ультразвуковой контроль является неразрушающим и не повреждает контролируемый образец, что является серьезным достоинством. Этот метод может быть использован на различных материалах, для широкого диапазона толщин.

Но, как правило, ультразвуковая дефектоскопия не может дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, лишь о его отражательной способности в направлении приемника. Ввиду большого акустического сопротивления воздуха, малейший воздушный зазор может стать непреодолимой преградой для ультразвуковых колебаний. Метод требует тщательную подготовку поверхности и использования контактной среды.

Прибор

Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 является переносным цифровым дефектоскопом общего назначения, предназначенным для выявления дефектов и измерения их параметров на основе теневого или зеркально-теневого методов. УД2-70 используется для выявления и замера дефектов, а также определения их координат в сварных соединениях и основном металле (показано на рис.1.7) [6].



Рис 1.7 Внешний вид дефектоскоп УД2-70

Таблица 1.4. Технические характеристики УД2-70

| | |
|--|--|
| Диапазон контроля по стали | от 2 до 5000 мм |
| Диапазон рабочих частот приёмного такта | от 0,2 до 12 МГц |
| Диапазон устанавливаемых скоростей УЗ колебаний | от 100 до 15000 м/с |
| Отсечка | Линейная, компенсированная, от 0 до 100% высоты экрана |
| Погрешность измерения глубины залегания дефектов | $\pm(0,5 + 0,02H)$ мм |
| Дискретность измерения расстояний | 0,1 мм |
| Интерфейс связи с компьютером | USB |
| Диапазон рабочих температур | -10...+50 °С |

1.5 Радиационный метод

Радиационный контроль используют для выявления дефектов (трещин, непроваров, пор) в сварных соединениях. Этот вид контроля применяют также для выявления геометрических нарушений (прожогов, подрезов выпуклости и вогнутости корня шва).

На рис. 1.8 показана схема радиографического контроля.

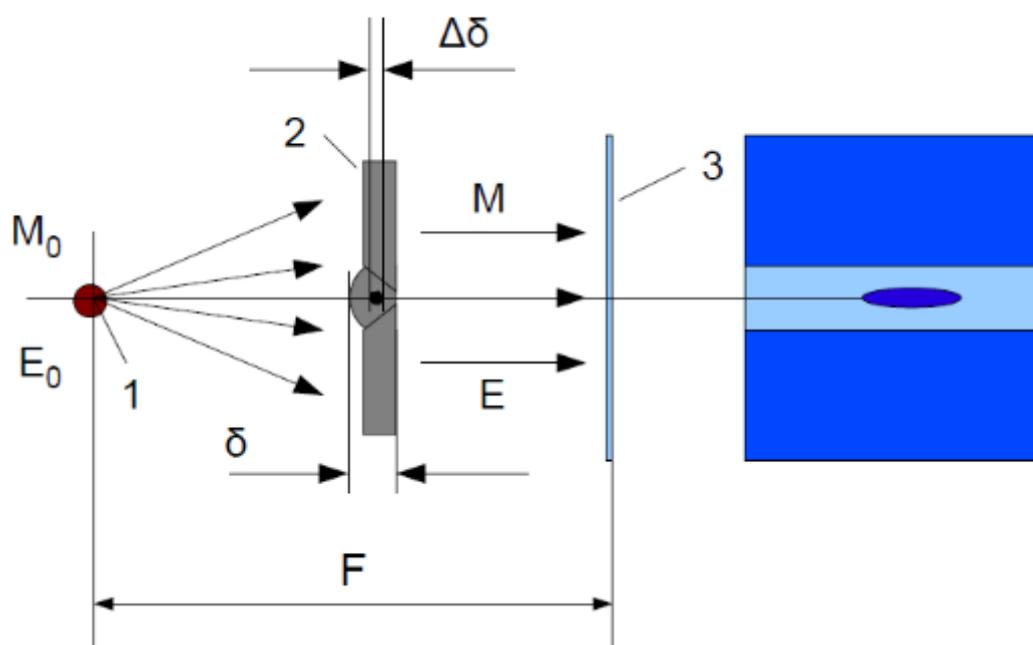


Рис 1.8 Принцип работы радиационного метода: 3 – детектор; 2 – изделие; 1 – источник.

При прохождении через объект контроля ионизирующего излучения происходит его поглощение и рассеивание. Степень изменения интенсивности зависит от толщины объекта δ и плотности материала ρ контролируемого объекта, а также энергии E и интенсивности M ионизирующего излучения. При присутствии в объекте внутренних дефектов размером $\Delta\delta$ изменяются характеристики пучка излучения. На рис. 1.8 показано, что интенсивность излучения, попадающего на детектор, сильнее в месте дефекта [7].

Оценки

Преимуществом метода является возможность проведения непрерывного контроля качества изделия.

Недостаток метода заключается в большом времени получения видимого изображения объекта и низком качестве изображения, что обусловлено значительным временем преобразования и влиянием рассеянного излучения. Одновременно, излучение очень вредно действует на персонал.

Прибор

Импульсный рентгеновский аппарат ПИОН-2М (рис. 1.9) предназначен для неразрушающего контроля сварных стыков трубопроводов и других металлоконструкций методом рентгенографии. Небольшой вес и габариты аппарата, при достаточно большой толщине просвечиваемого металла делают его незаменимым для радиографического контроля в сложных полевых условиях. Технические характеристики аппарата позволяют производить съемку сварных швов трубопроводов как через две стенки - фронтально, так и панорамно. С аппаратом поставляются два комплекта аккумуляторных батарей с возможностью оперативной замены в полевых условиях, что дает возможность использовать его без дополнительных источников питания и подзарядки в течении рабочей смены [8].



Рис 1.9 Внешний вид аппарата ПИОН-2М

Таблица 1.5. Технические характеристики ПИОН-2М

| | |
|---|--------------------|
| Минимальная экспозиционная доза излучения на расстоянии 500 мм от торца рентгеновской трубки мр/мин. | 300 |
| Максимальная для рентгенографирования толщина стали на расстоянии 500 мм от торца рентгенаппарата, мм | 35 |
| Рабочее положение аппарата в пространстве | любое |
| Максимальное время одной экспозиции, мин | 2 |
| Длина кабеля пульта управления, м | 20 |
| Габаритные размеры, мм | 120 х 460 х 230 |
| Интервал рабочих температур, °С | от -30 до +40 |
| Допустимая относительная влажность при t +20°С | до 80 % |

1.6 Эле́ктропотенциальный метод

Эле́ктропотенциальный метод контроля основан на зависимости распределения потенциалов на поверхности объекта, по которому пропускается электрический ток, от свойств объекта.

Если через электропроводящий объект пропустить электрический ток (на рис. 1.10), то в нём возникнет электрическое поле. Точки с равным потенциалом образуют эквипотенциальные линии. В местах дефектов возникнет изменение разности потенциалов, которое измеряется с помощью электродов [9].



Рис 1.10. Эле́ктропотенциальный МНК

Оценки

Недостатки этого метода можно отнести необходимость контакта с объектом контроля, жесткие требования к чистоте поверхности изделия, трудность автоматизации процесса измерения и зависимость результатов измерения от состояния окружающей среды.

Прибор

Трещиномер 281М портативный прибор для оценки глубины и протяженности трещин на поверхностях изделий из ферромагнитных сплавов. Эле́ктропотенциальный метод детектирования, успешно реализованный в 281М, позволяет локализовать дефектные участки поверхности от 0,2 мм до 10 см и протяженностью до пятикратной глубины [10].



Рис 1.11 Внешний вид трещиномера 281М

Таблица 1.6. Технические характеристики трещиномера 281М

| Параметр | Значение |
|---------------------------|------------------------------|
| Измерительный диапазон | 0 - 30 мм |
| Оценочный диапазон | 30 - 100 мм |
| Погрешность | 0.1± 0.2 мм |
| Макс. раскрытие трещины | 3,5 мм |
| Мин. протяженность трещин | пятикратная глубина, от 3 мм |

1.7 Вихретоковый метод

В разделе 2.1-2.4 приведены основные сведения о вихретоковом методе дефектоскопии.

Оценка

Вихретоковый контроль можно осуществлять при движении ОК относительно ВТП, причем скорость движения при производственном контроле может быть значительной, что обеспечивает высокую производительность контроля и высокую скорость контроля.

Дополнительным преимуществом метода является то, что на сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности ОК непроводящими веществами, а также простота конструкции ВТП. Еще одним достоинством вихретокового контроля является его бесконтактность.

К недостаткам вихретокового метода контроля следует отнести, во-первых, то, что можно проводить контроль только у электропроводящих объектов: металлы, сплавы, графит, полупроводники, во-вторых, малую глубину зоны контроля, которая не превышает нескольких миллиметров, так как определяется глубиной проникновения в контролируемую среду электромагнитного поля.

Прибор

Дефектоскоп вихретоковый ВДЗ-71 (рис.1.10) относится к средствам контроля и оценки дефектов и предназначен для ручного контроля вихретоковым методом на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов типа нарушения сложности материала (трещины, закаты, раковины, волосовины и др.) [11].



Рис 1.12 Внешний вид дефектоскопа ВД3-71

Таблица 1.7.1. Технические характеристики ВД3-71

| | |
|--|-----------------|
| Радиус кривизны поверхности ОК | нет ограничений |
| Порог чувствительности, (глубина / ширина) | 0.1 / 0.05 мм |
| Скорость сканирования | 0.5 м/с |
| Время установления рабочего режима | 30 сек |
| Подключение к ПК | USB |

Вихретоковый дефектоскоп ВД-70 (рис.1.11) предназначен для контроля продукции из ферромагнитных и немагнитных металлов и сплавов на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов типа трещин, определения местоположения дефектов и оценки их глубины. В вихретоковом дефектоскопе ВД-70 используется цифровая обработка сигнала, позволяющая проводить контроль с более высокой точностью чем на аналоговых приборах. Цифровая обработка также позволяет реализовать другие потребительские функции, такие как память изображения дефекта, режим «заморозки» изображения экрана, связь с компьютером позволяет создать отчет по результатам контроля [12].



Рис 1.13 Внешний вид дефектоскоп ВД70

Таблица 1.7.2. Технические характеристики ВД70

| | |
|------------------------------------|------------------|
| Порог чувствительности | |
| - глубина | 0,3 ± 0,02 мм |
| - ширина | 0,05...0,1 мм |
| Диапазон оценки глубины дефекта | от 0,3 до 7 мм |
| Погрешность оценки глубины дефекта | = ±(0,1+0,3x) мм |
| Рабочая частота | 10...250 кГц |
| Диапазон рабочих температур | - 10 ... + 50 °С |
| Время непрерывной работы | не менее 8 час |

1.8 Выбор метода

Из всего сказанного выше следует, что для решения данной задачи в качестве метода контроля выбираем вихретоковый метод.

Вихретоковый контроль можно осуществлять при движении ОК относительно ВТП, причем скорость движения при производственном контроле может быть значительной, что обеспечивает высокую производительность контроля. Контроль может осуществляться бесконтактно при большом зазоре.

Другим достоинством метода является то, что на сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности ОК непроводящими веществами, а также простота конструкции ВТП.

К недостаткам метода можно отнести влияние зазора. Для исключения этого недостатка надо измерять зазор.

1.9 Выбор датчика измерения зазора

Для измерения зазора бурильных труб применяются различные датчики, в том числе, оптический, магнитный, и вихретоковый.

Оптический датчик

Один из способов решения задачи по бесконтактному определению расстояния до объекта в промышленности – оптические датчики расстояния.

Промышленные оптические дальномеры могут работать по принципу измерения времени пролета луча. Еще один принцип – триангуляция, в котором оценивается угол отраженного луча. Наиболее точные измерения обеспечивают именно триангуляционные датчики расстояния, однако, применение их ограничено высокой стоимостью.

В основу работы датчика положен принцип оптической триангуляции. Излучение полупроводникового лазера 1 фокусируется объективом 2 на объекте 6. Рассеянное на объекте излучение объективом 3 собирается на CCD-линейке 4. Процессор сигналов 5 рассчитывает расстояние до объекта по положению изображения светового пятна на линейке 4 (рис 1.12) [13].

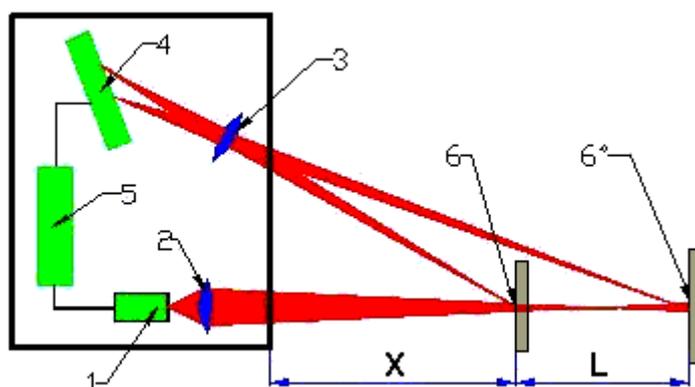


Рис.1.14 Принцип работы триангуляционных лазерных датчиков

Триангуляционные лазерные датчики могут безконтактно измерять и контролировать положение, поверхности, перемещения, профиля и размеров,

сортировки, вибраций, деформаций, распознавания технологических объектов, измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов.

Датчик

Триангуляционные лазерные датчики, серии ЛД1 (рис.1.15), предназначены для использования в системах автоматизации и бесконтактного измерения различных геометрических параметров: толщина, прямолинейность, внутренний и внешний диаметры, сканирования профиля изделий сложной формы, определения положения объектов. На базе датчиков могут быть построены системы автоматического управления различными процессами.



Рис.1.15 Триангуляционные лазерные датчики, серии ЛД1

Таблица 1.9.1. Технические характеристики ЛД1:

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Диапазон измерения | от 5мм до 1200мм |
| Точность измерения | до ± 5 мкм |
| Максимальная частота измерений | до 16150Гц |

Магнитный датчик

Магнитно-индуктивный датчик – это преобразователь параметрического типа, принцип действия которого основан на изменении индуктивности L или взаимоиндуктивности обмотки с сердечником, вследствие изменения

магнитного сопротивления R_M магнитной цепи датчика, в которую входит сердечник.

Магнитно-индуктивные датчики предназначены для бесконтактного детектирования положения объектов.

Магнитные датчики имеют высокую точность измерения и широко распространены. Но данные датчики имеют недостаток, это ухудшенная линейность характеристики [15].

Датчик

Важное преимущество магнитных датчиков – большое расстояние срабатывания при компактных габаритных размерах датчика. Единственное условие, которое накладывает применение этого типа датчика расстояния, это оснащение объекта измерений постоянным магнитом. В связи с тем, что магнитное поле проникает сквозь любые объекты и материалы, датчики позволяют определять приближение объекта даже через немагнитные материалы. Другими словами, между объектом с постоянным магнитом и датчиком могут быть расположены любые внешние объекты. Использование проводника из железа увеличивает расстояние срабатывания, а также позволяет проводить измерения при высоких температурах окружающей среды.



Рис 1.16. магнитный датчик серия ММ08

Таблица 1.9.2 Технические характеристики серия ММ08

| | |
|--------------------|------------------------|
| Диапазон измерений | 0 .. 60 мм |
| Габаритные размеры | М8 с шагом резьбы 1 мм |
| Чувствительность | 60 мА |
| Напряжение питание | 10...30 В пост. тока |

Вихретоковый датчик

Вихретоковые датчики удобны для измерения расстояний на металлических объектах с высоким разрешением (до микрометров) бесконтактным способом.

Принцип работы: в торце диэлектрического наконечника вихревого пробника находится катушка индуктивности (рис.1.17). Электронный блок обеспечивает возбуждение электромагнитных колебаний в катушке, в результате чего возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с материалом контролируемого объекта. Если материал обладает электропроводностью, на его поверхности наводятся вихревые токи, которые, в свою очередь, изменяют параметры катушки – ее активное и индуктивное сопротивление. Параметры меняются при изменении зазора между контролируемым объектом и торцом датчика. Электронный блок преобразует эти изменения в электрический сигнал, осуществляет его линеаризацию и масштабирование.

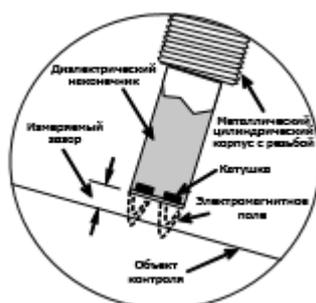


Рис 1.17. Принцип работы вихретоковых датчиков

Датчик

BAW аналоговые сенсоры для предназначен для решения задач измерения расстояния, толщины, ширины ленты, распознавания волнистых поверхностей, позиционирования и контроля положения применимы аналоговые сенсоры BALLUFF. Эти сенсоры имеют линейный выход тока или напряжения, который меняется пропорционально расстоянию до объекта от поверхности демпфирования [16].

Таблица 1.9.3 Технические характеристики Серия TX

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Тип преобразователей | BAW M18MG-UAC80F-S04G |
| Входное напряжение (В) | 15—30 DC |
| Выходное напряжение (В) | 0—10 |
| Линейная чувствительная зона (мм) | 2—8 |
| Коэффициент температуры(мкм/К) | -2—4 |
| Нелинейность(мкм) | ±180 |
| Диаметр(мм) | M18×1 |

Вывод выбора датчика

К недостаткам магнитных датчиков можно отнести сильную нелинейность характеристики. Триангуляционные датчики дорогостоящие.

Из всего сказанного выше для нашей задачи в качестве первичного измерительного преобразователя для измерения зазора бурильных труб выбираем вихретоковый датчик.

2 Вихретоковый метод дефектоскопии

2.1 Физические основы метода ВТ

Вихревые токи возникают в электропроводящих объектах, находящихся под воздействием переменного магнитного поля. Впервые вихревые токи были обнаружены французским ученым Д.Ф. Араго в 1824 году.

Используемый метод для измерения внутреннего диаметра труб в данной работе является вихретоковым [17].

Вихретоковые измерительные преобразования в полях вихревых токов основаны на возбуждении в электропроводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов от свойств объекта. На рис.1 приведен принцип объяснения возбуждения вихревого тока в электропроводящих объектах [18].

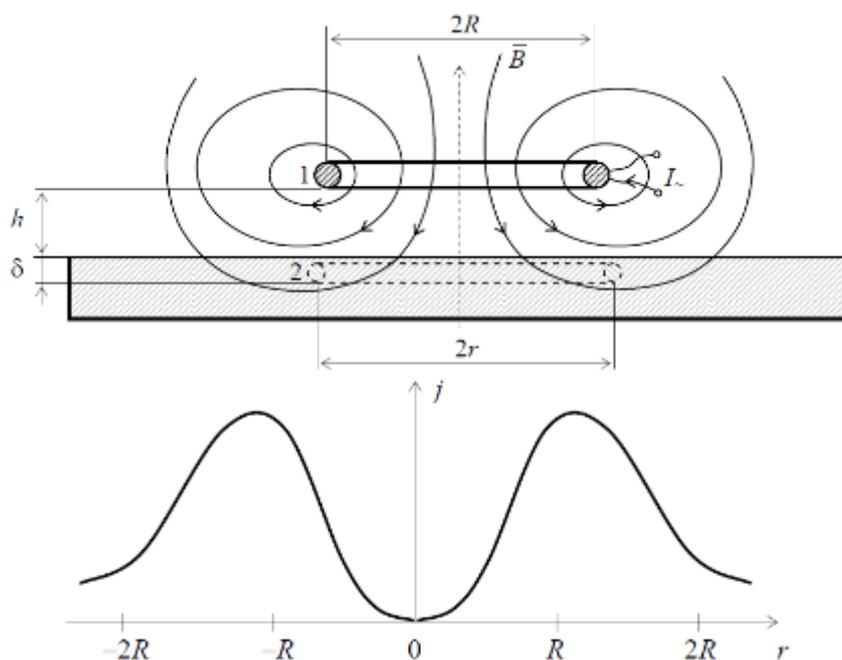


Рис. 2.1. Возбуждение вихревых токов переменным магнитным

полем круглой обмотки с током и радиальное распределение плотности вихревых токов в электропроводящем объекте

Переменный (синусоидальный) ток обмотки создает вокруг обмотки переменное магнитное поле (рис. 2.1). В соответствии с законом электромагнитной индукции, переменное магнитное поле мгновенно создает в электропроводящем объекте вихревое электрическое поле, напряженность E которого связана с индукцией B магнитного поля соотношением:

$$\operatorname{rot} E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

Наличие вихревого электрического поля в электропроводящем объекте приводит к появлению вихревого тока, плотность которого J прямо пропорциональна напряженности электрического поля и удельной электрической проводимости материала σ :

$$J = \sigma E$$

2.2 Области применения

Благодаря столь высокой информативности, а также таким достоинствам как отсутствие необходимости непосредственного контакта с объектом, безвредность, надежность, высокая производительность и удобство автоматизации, вихретоковое измерительное преобразование нашло широкое применение для решения различных прикладных задач измерения и контроля. Основные сферы использования вихретокового измерительного преобразования следующие: структуроскопия, дефектоскопия, толщинометрия, измерение угловых и линейных геометрических параметров, селективное обнаружение металлических предметов, измерение электрических и магнитных характеристик материалов и изделий, измерение механических напряжений и деформаций и т.д.

Примеры реализации средств ВТ контроля. Для нахождения дефекта ОК может применяться дефектоскоп ВДЗ-71 с ВТП (рис. 2.2 и 2.3).



Рис. 2.2. Вихретоковый дефектоскоп ВДЗ-71



Рис. 2.3. ВТ преобразователи к дефектоскопу

Для измерения толщины диэлектрических покрытий может быть использован цифровой толщиномер Elcometer 355. Внешний вид прибора и используемые ВТП показаны на рис. 2.4 и 2.5.

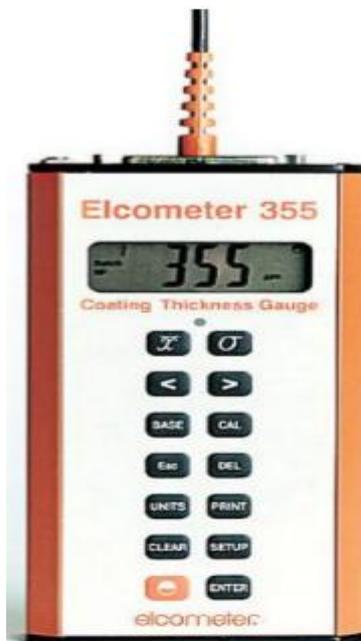


Рис 2.4. Толщиномер Elcometer 355



Рис.2.5. ВТП для толщиномеров покрытий

Вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП предназначен для неразрушающего контроля качества изделий из немагнитных сплавов на основе алюминия или меди при помощи измерения их удельной электрической проводимости. Внешний вид показан на рис. 2.6.



Рис 2.6. Вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП

2.3 Классификация ВТП

В настоящее время для вихретокового контроля используется большое число типов и разновидностей ВТП, которые классифицируют по следующим признакам:

1. По типу преобразования параметров ОК в выходной сигнал – параметрические и трансформаторные.
2. По зоне взаимодействия с ОК – проходные, накладные и комбинированные.
3. По способу получения информации об ОК – абсолютные и дифференциальные ВТП.
4. По числу элементов – одноэлементные и многоэлементные (матричные) ВТП.

Параметрический ВТП имеет только одну обмотку, параметры которой (активное и индуктивное сопротивления) зависят от параметров ОК ВТП. Трансформаторные ВТП помимо возбуждающих катушек имеют ещё измерительные, с помощью которых получают информацию о параметрах ОК [19].

Преимущество параметрических ВТП заключается в их простоте – они могут состоять всего из одной катушки индуктивности. Недосток параметрических ВТП – изменение активного сопротивления катушки ВТП от температуры, сопоставимое с его изменением под влиянием ОК, что весьма существенно для абсолютных измерений электрофизических и геометрических параметров ОК, но не имеет особого значения при выявлении дефектов (дефектоскопии). Различные варианты исполнения параметрических ВТП приведены на рис.2.7 и 2.8.

Трансформаторные ВТП могут иметь как соосные, так и несоосные возбуждающие и измерительные катушки. Зависимость вносимого напряжения соосных трансформаторных ВТП подобна зависимости вносимого сопротивления соответствующих параметрических ВТП. Смещение осей

измерительных и возбуждающих катушек трансформаторных ВТП, изменение формы и соотношения их размеров позволяет изменять зависимость вносимого напряжения от параметров ОК, добиваясь повышения эффективности контроля применительно к конкретным задачам. Таким образом, трансформаторные ВТП обладают большими возможностями ввиду изменения взаимного положения, формы и соотношения размеров возбуждающих и измерительных катушек.

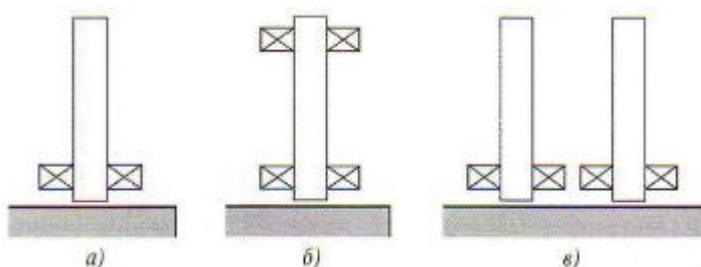


Рис. 2.7. Параметрические накладные ВТП:

а – с одной катушкой (абсолютный);

б – с дифференциально включенными измерительной и компенсационной катушками (абсолютный скомпенсированный);

в – с двумя дифференциально включенными рабочими катушками (дифференциальный)

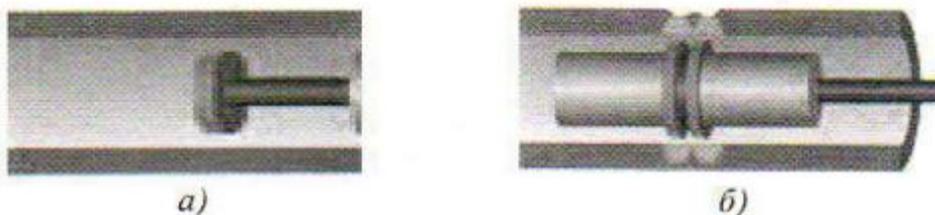


Рис. 2.8. Параметрические проходные ВТП:

а – с одной катушкой (абсолютный); б – с двумя дифференциально включенными рабочими катушками (дифференциальный)

Проходные ВТП применяют для контроля линейно протяженных объектов, получая интегральную информацию об ОК в соответствующем поперечном сечении.

Проходные ВТП делятся на наружные, внутренние и экранные, а накладные – на наружные и экранные (рис 2.9). Экранные накладные ВТП используют весьма редко. Поэтому под накладными ВТП, как правило, имеют в виду наружные накладные ВТП, опуская определение «наружные».

Для контроля изделий сложной формы используют специализированные накладные ВТП, поверхность рабочего торца которых согласована с поверхностью КО. На рис. 2.10 показан преобразователь ВТП УЗ*8, предназначенный для контроля тепловых канавок ротора.

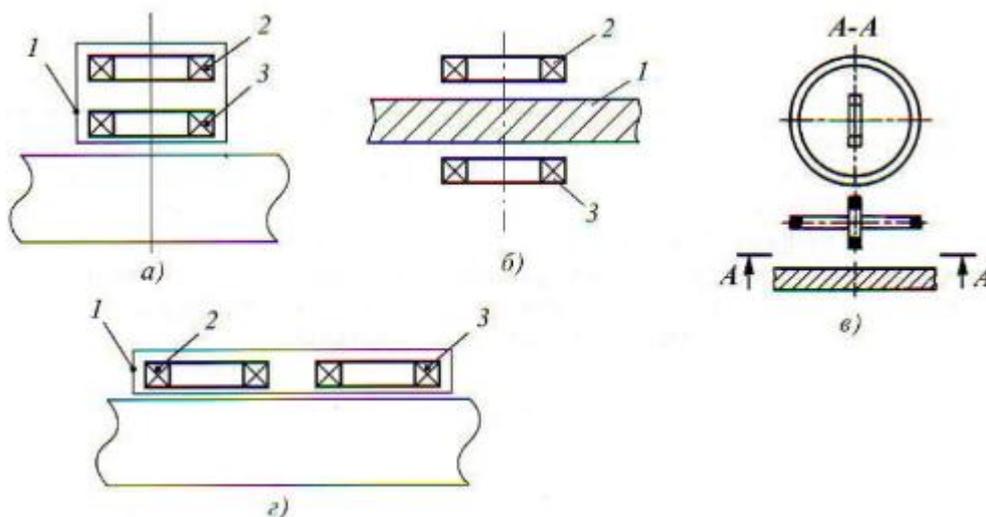


Рис. 2.9. Накладные трансформаторные ВТП:
 а – накладной ВТП с соосными катушками; б –
 накладной ВТП; в – накладной ВТП с ортогональными осями
 катушек; г – накладной ВТП с несоосными катушками с
 параллельными осями; 1 – ОК; 2 – возбуждающая катушка; 3
 – измерительная катушка

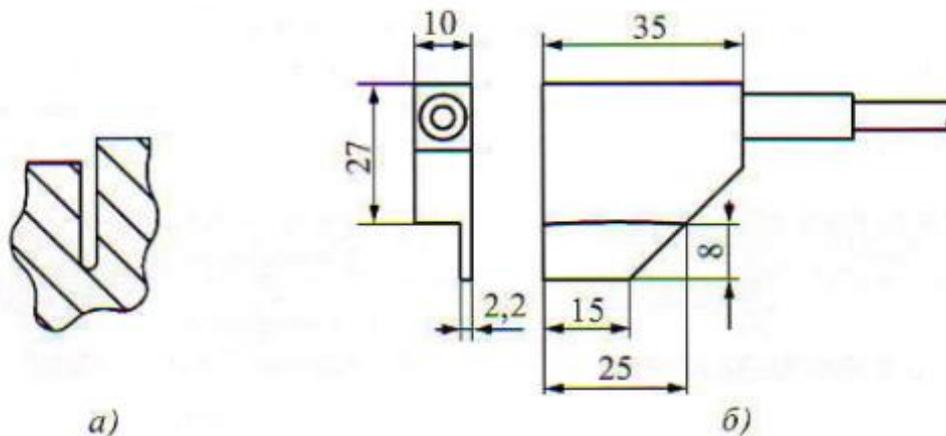


Рис. 2.10. Специализированный накладной преобразователь ВТП U3*8 для контроля тепловых канавок ротора:

а – сечение тепловой канавки; б – конструкция ВТП

По способу получения информации различают абсолютные и дифференциальные ВТП. В абсолютном ВТП выходной сигнал определяется параметрами ОК в зоне его электромагнитного взаимодействия с ВТП, а в дифференциальном – разностью параметров ОК на соответствующих его участках.

Абсолютные ВТП применяют для измерения электромагнитных параметров металла ОК, его геометрических размеров (толщины листов, труб, их внешнего и внутреннего диаметров, толщины покрытий и т.д.), выявления и дефектометрической оценки дефектов. При взаимодействии с дефектом сигнал абсолютного ВТП зависит от размера дефекта (рис. 2.11), а сигнал дифференциального ВТП пропорционален их изменению от одного до другого участка (рис. 2.12).

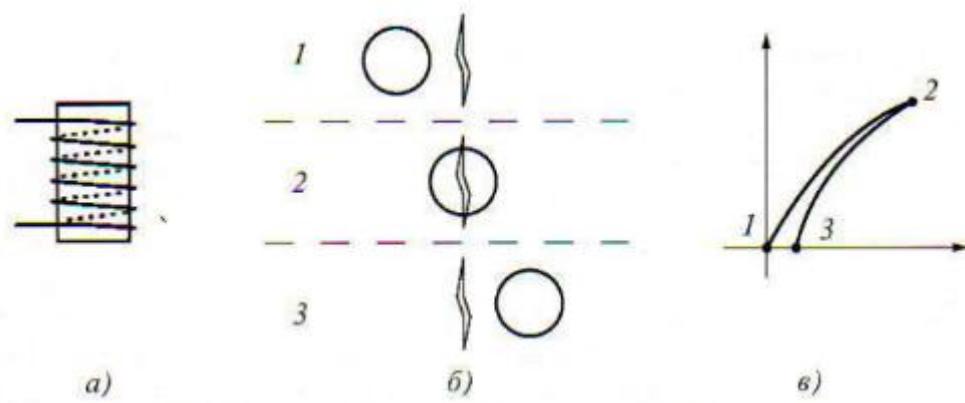


Рис. 2.11. Взаимодействие абсолютного ВТП с дефектом:

а – ВТП; б – порядок сканирования участка с трещиной;
 в – отображение изменения вносимых параметров на комплексной плоскости

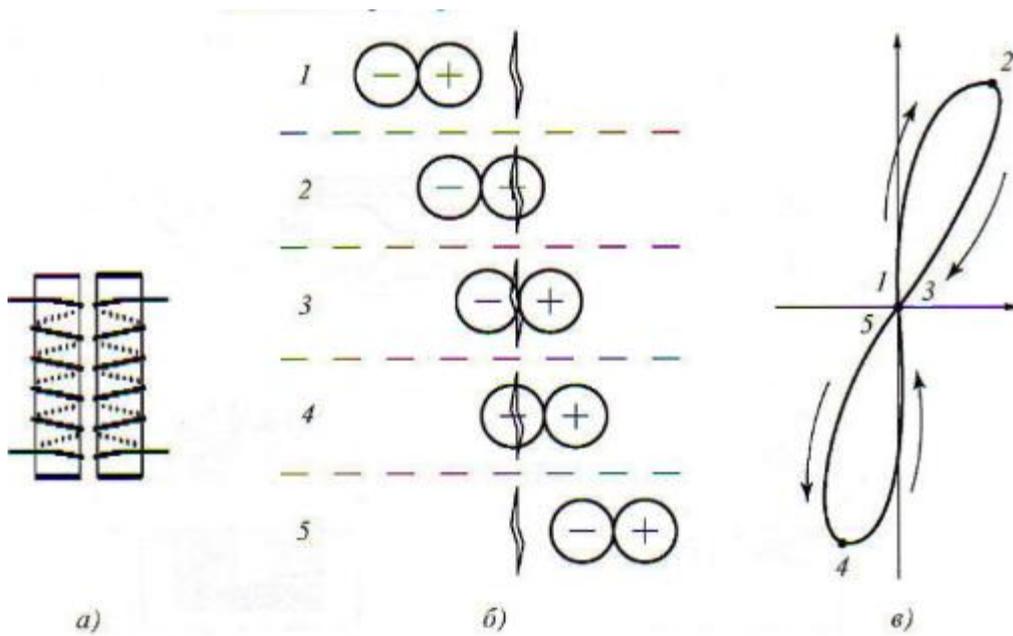


Рис. 2.12. Взаимодействие дифференциальных ВТП с дефектом:

а – ВТП; б – порядок сканирования участка с трещиной;
 в – отображение изменения вносимых параметров на комплексной плоскости

Дифференциальные ВТП применяются преимущественно для дефектоскопии, в явном виде выделяя изменение вносимого сигнала при наличии дефекта. При этом влияние электромагнитной неоднородности металла и других факторов значительно ослабляется, так как они изменяются более плавно, чем сплошность металла. Однако можно пропустить дефект типа трещины с плавно изменяющейся глубиной при перемещении дифференциальных ВТП вдоль них. Поэтому дифференциальными накладными ВТП необходимо сканировать контролируемую поверхность в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Абсолютные ВТП имеют одну измерительную катушку, взаимодействующую с ОК. В дифференциальном ВТП информация снимается с двух соседних участков ОК.

Для проходных ВТП чаще применяют дифференциальный преобразователь с двумя идентичными дифференциально включенными измерительными катушками, размещенными с осевым зазором b , называемым базой дифференциального ВТП. Такой ВТП может быть как трансформаторным, так и параметрическим (рис.2.13).

Для накладных дифференциальных ВТП возможна схема с двумя дифференциально включенными идентичными абсолютными преобразователями, оси которых смещены на расстояние b , а рабочие торцы находятся в одной плоскости. На практике часто используют ВТП с одной возбуждающей катушкой, охватывающей две идентичные дифференциальные измерительные обмотки. Создается возбуждающий магнитный поток, пересекающий плоскость витков измерительной катушки в разных направлениях. Различные варианты выполнения дифференциальных накладных ВТП приведены на рис. 2.14.

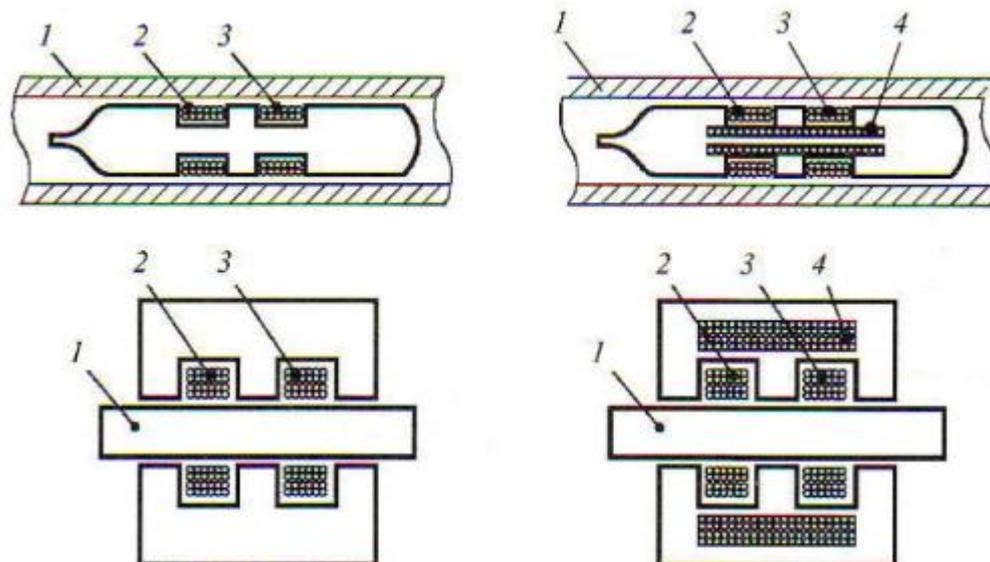


Рис. 2.13. Дифференциальные проходные ВТП:
 1 – ОК; 2,3 – измерительные (и возбуждающие)
 катушки; 4 – возбуждающие катушки

В большинстве случаев накладные ВТП содержат ферромагнитные ферритовые сердечники, в которых концентрируется магнитное поле возбуждающей катушки, вследствие чего уменьшается пятно контроля. Кроме того, ввиду усиления магнитного поля ферромагнитным сердечником увеличивается абсолютная чувствительность ВТП. В простейшем случае ферромагнитный сердечник имеет форму цилиндра с плоскими торцами. Диаметр сердечника промышленно выпускаемых накладных ВТП составляет 1...6 мм.

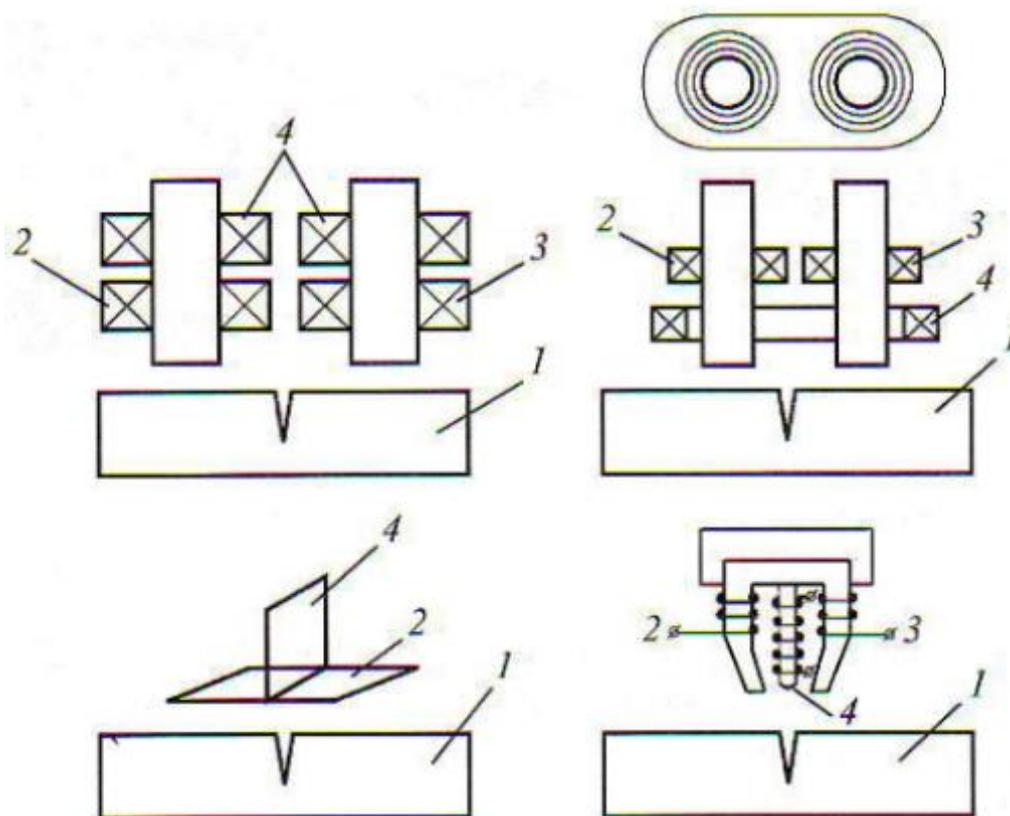


Рис. 2.14. Дифференциальные накладные ВТП:
 1 – ОК; 2, 3 – дифференциально включенные
 измерительные обмотки; 4 – обмотка возбуждения

Комбинированные ВТП представляют собой совокупность проходных возбуждающих катушек 2 и накладных измерительных катушек 3 (рис. 2.15).

Многоэлементные ВТП применяют при высокопроизводительном контроле ОК с большой поверхностью, например трубопроводов, колесных пар железнодорожных составов, корпусного оборудования и т.п. Они состоят из нескольких элементов, представляющих собой идентичные одноэлементные ВТП, объединенные в общем корпусе (рис. 2.16).

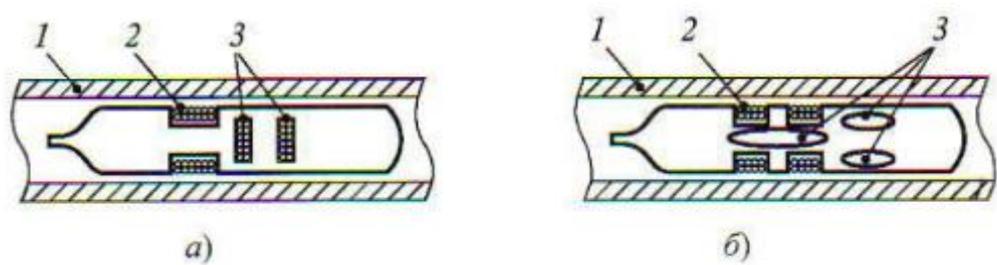


Рис. 2.15. Комбинированные ВТП с проходной возбуждающей (а) и накладными измерительными катушками (б):

1 – ОК; 2,3 – проходные возбуждающие и накладные измерительные катушки

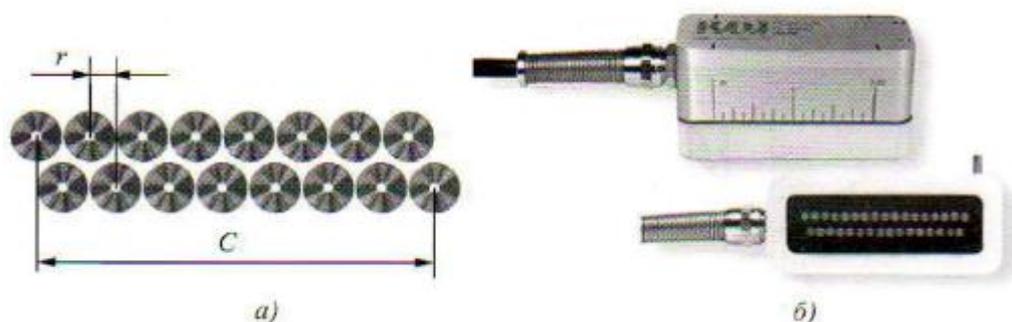


Рис. 2.16. Многоэлементные (матричные) ВТП:
а – размещение катушек; б – конструктивное исполнение

ВТП специальной конструкции используют для контроля пространственного положения изделий, измерения параметров вибраций, скорости движения ОК, угловых и линейных смещений контролируемых изделий.

Приведенная классификация ВТП далеко не полностью характеризует все многообразие ВТП, используемых для контроля различных параметров ОК и обнаружения и оценки различных дефектов.

2.4 Физические основы вихретоковой дефектоскопия

Составляющая напряжения измерительной обмотки, обусловленная непосредственным действием возбуждающего магнитного поля, называется начальным напряжением вихретокового преобразователя U_0 . Составляющая напряжения измерительной обмотки, обусловленная действием магнитного поля вихревых токов, называется вносимым напряжением вихретокового преобразователя $U_{вн}$. Таким образом :

$$U = U_0 + U_{вн}$$

Начальное напряжение U_0 наводится в измерительной обмотке в отсутствие объекта контроля за счет индуктивной связи между возбуждающей и измерительной обмотками ВТП. Вносимое напряжение $U_{вн}$ наводится вихревыми токами, протекающими в объекте контроля. Оба напряжения являются комплексными. Начальное напряжение U_0 зависит от частоты тока возбуждения и размеров ВТП, а вносимое напряжение $U_{вн}$ определяется также параметрами объекта контроля и взаимным расположением ВТП и ОК.

Благодаря описанным ранее физическим особенностям возбуждения и пространственного распределения индуцируемых в электропроводящем объекте вихревых токов, рассматриваемое измерительное преобразование позволяет получать измерительную информацию о наличии и характеристиках структурных неоднородностей поверхностного слоя объекта.

На рис. 2.17 иллюстрируется взаимодействие магнитного поля круглой обмотки с электропроводящей пластиной, имеющей прорезь (дефект). Возбуждаемые в поверхностном слое пластины вихревые токи в случае расположения прорези под обмоткой возбуждения вынужденно обтекают это препятствие. На рисунке схематично показана форма контура вихревых токов.

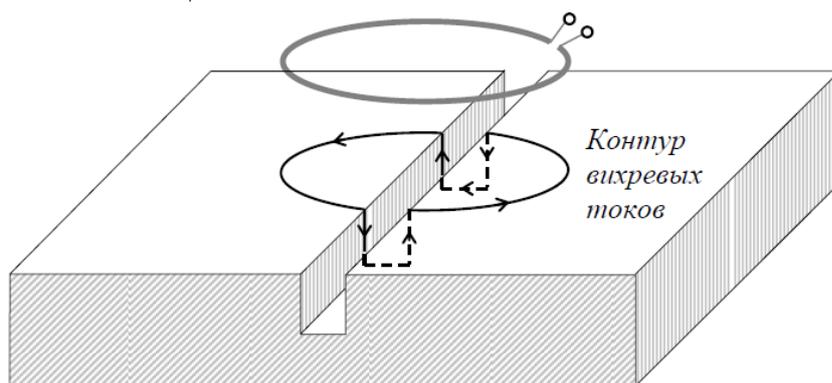


Рис. 2.17. Круглая обмотка возбуждения над электропроводящей пластиной с прорезью

Наличие прорези вызывает, таким образом, изменение размеров и формы контуров вихревых токов по сравнению с контурами этих токов на соседних бездефектных участках поверхности объекта, а это, в свою очередь, приводит к изменению вносимого напряжения измерительной обмотки $\Delta U_{вн}^*$.

На рис. 2.18 показаны годографы приращения относительного вносимого напряжения $\Delta U_{вн}^*$ от изменения глубины s , длины l и глубины залегания d плоского прямоугольного дефекта (непроводящего включения) в поверхностном слое немагнитного полупространства (пластины, толщина которой значительно превосходит глубину проникновения электромагнитного поля). Принималось, что радиусы обмотки возбуждения и измерительной обмотки имеют одинаковый радиус R , малое поперечное сечение и расположены вплотную друг к другу непосредственно над дефектом на расстоянии $h = 0.75R$ от поверхности пластины. Значение обобщенного параметра $\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$ принималось равным трем. При данных условиях максимальное значение амплитуды, вызываемого дефектом приращения относительного вносимого напряжения $\Delta U_{вн}^*$, соответствует случаю, когда $l \rightarrow \infty$ (длина дефекта значительно превосходит размеры обмоток), $s \rightarrow \infty$

(глубина дефекта превышает радиус обмоток), а $d \rightarrow 0$ (дефект выходит на поверхность пластины). При уменьшении длины l и глубины s дефекта, а также увеличении глубины его залегания d амплитуда $m \Delta U_m^*$ снижается.

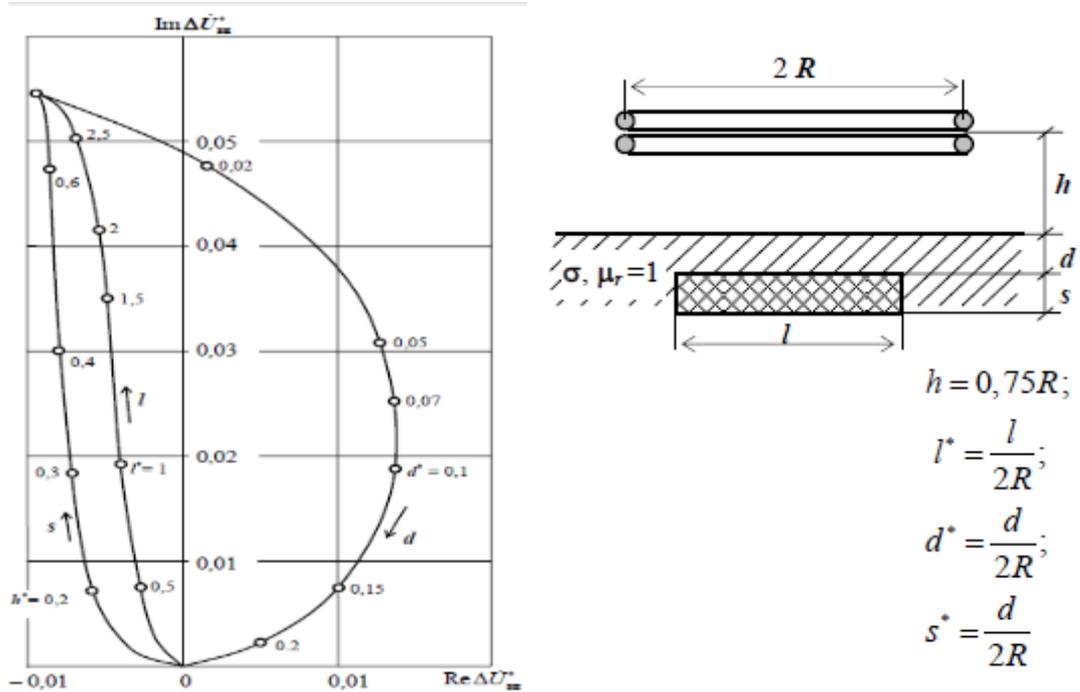


Рис. 2.18. Годографы приращения относительного вносимого напряжения вихретокового преобразователя от изменения глубины, длины и глубины залегания плоского дефекта в поверхностном слое немагнитного полупространства: $\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0} = 3$

Таким образом, вихретоковое преобразование позволяет не только установить наличие дефекта, но и получить информацию о его геометрических параметрах.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для сравнения выбраны два коммерчески успешных прибора наиболее близкие с разрабатываемым прибором по назначению:

1. Микроскопа ETALON TCM 100(разрушающий метод)
2. Ультразвуковой дефектоскоп NOVOTEST УД2301

Главное преимущество разрабатываемого прибора перед его аналогами – большая скорость и точность. Использование микроскопа ETALON TCM 100 – разрушающий метод, невозможно контролировать в процессе производства. Благодаря применению мультисенсорной технологии (MST) в комбинации с двумя высокоскоростными сканерами, NOVOTEST УД2301 достигается точное измерение в процессе производства.

Таблица 7.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|-------|-----|-----|-----------------------|------|------|
| | | БФ | БК1 | БК2 | КФ | КК1 | КК2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Повышение производительности труда пользователя | 0.09 | 5 | 5 | 5 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0.07 | 3 | 4 | 5 | 0.21 | 0.28 | 0.35 |
| 3. Помехоустойчивость | 0.09 | 5 | 3 | 5 | 0.45 | 0.27 | 0.45 |
| 4. Энергоэкономичность | 0.01 | 5 | 3 | 4 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |

| | | | | | | | |
|--|-------|---|---|---|------|-------|-------|
| 5. Надежность | 0.03 | 4 | 4 | 5 | 0.12 | 0.12 | 0.15 |
| 6. Уровень шума | 0.07 | 5 | 2 | 5 | 0.35 | 0.14 | 0.35 |
| 7. Безопасность | 0.07 | 5 | 4 | 5 | 0.25 | 0.28 | 0.35 |
| 8. Потребность в ресурсах памяти | 0.01 | 4 | 5 | 5 | 0.04 | 0.05 | 0.05 |
| 9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0.02 | 4 | 3 | 4 | 0.08 | 0.06 | 0.08 |
| 10. Простота эксплуатации | 0.04 | 5 | 4 | 4 | 0.20 | 0.16 | 0.08 |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса | 0.04 | 4 | 3 | 4 | 0.16 | 0.12 | 0.12 |
| 12. Возможность подключения в сеть ЭВМ | 0.07 | 5 | 3 | 4 | 0.35 | 0.21 | 0.28 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность продукта | 0.1 | 4 | 4 | 5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| 2. Уровень проникновения на рынок | 0.07 | 4 | 3 | 3 | 0.28 | 0.21 | 0.21 |
| 3. Цена | 0.07 | 5 | 2 | 4 | 0.35 | 0.14 | 0.28 |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации. | 0.04 | 4 | 4 | 5 | 0.16 | 0.16 | 0.20 |
| 5. Послепродажное обслуживание | 0.025 | 4 | 5 | 5 | 0.10 | 0.125 | 0.075 |
| 6. Финансирование научной разработки | 0.05 | 4 | 5 | 5 | 0.20 | 0.25 | 0.25 |
| 7. Срок выхода на рынок | 0.015 | 4 | 4 | 3 | 0.06 | 0.06 | 0.045 |
| 8. Наличие сертификации разработки | 0.02 | 4 | 4 | 4 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| Итого | 1 | | | | 4.34 | 3.745 | 4.39 |

После расчёта средневзвешенного показателя, который составил 4.34, можно судить о том, что он сможет составить достойную конкуренцию на рынке. Можно обратить внимание на эту работу [20].

7.2 SWOT-анализ

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними.

Корреляция между сильными и слабыми сторонами проекта с возможностями и угрозами отображена в итоговой матрице SWOT-анализа (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – SWOT-анализ

| | | |
|---|--|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Квалифицированный персонал.</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров</p> <p>Сл2. Отсутствие инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> |
| <p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при</p> | <p>СиУ:</p> <p>Разработка течепоискового комплекса, обладающего более высокими показателями качества, по сравнению с теми, что представлены на рынке (в частности, более высокая надежность и быстрое действие) с целью получения готового продукта с конкурентными преимуществами с оптимальной себестоимостью, высоким качеством и</p> | <p>СЛив:</p> <p>1. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей</p> <p>2. Создание инжиниринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом</p> <p>3. Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания</p> |

| | | |
|---|---|---|
| научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок | инжиниринговой услугой. | опытного образца 4.Сокращение поставок или смена поставщика |
| Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства У2.Развитая конкуренция технологий производства У3.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции | СВиУ: 1.Продвижение программы с целью создания спроса 2.Создание конкурентных преимуществ готового продукта 3.Сертификация и стандартизация продукта | СЛиУ: 1.Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей 2.Создание инжиниринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом 3.Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца 4.Сокращение поставок или смена поставщика |

7.3 Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации.

7.4 Инициация проекта

Цели и результат проекта: разработка измерителя глубины дефектов бурильных труб в процессе производства. Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 - заинтересованные стороны проекта

| | |
|----------------------------------|---|
| Заинтересованные стороны проекта | Ожидания заинтересованных сторон |
| Руководитель проекта | Качественное выполнение работ в оговоренные сроки |
| Исполнитель проекта | Разработка измерителя глубины дефектов бурильных труб |

В таблице 7.4 представлена информация об иерархии целей проекта и требованиях к результату. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 7.4 - цели и результат проекта

| | |
|----------------------------------|---|
| Цели проекта: | Разработка измерителя глубины дефектов бурильных труб в процессе производства. Разработка ресурсоэффективного и экономически выгодного способа измерения глубины дефектов труб. |
| Ожидаемые результаты проекта: | Разработки прибора |
| Требования к результату проекта: | Выполнение в срок |

Участники рабочей группы представлены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудозатраты, час |
|-------|---------------------------------------|----------------------|---|-------------------|
| 1 | Гольдштейн А.Е., каф. ФМПК профессор | Руководитель проекта | Координирует деятельность исполнителя проекта | 300 |
| 2 | Мэн Цинъян, каф. ФМПК, | Исполнитель проекта | Выполнение проектных | 2200 |

| | | | | |
|---------|------------|--|--|------|
| | магистрант | | | |
| ИТОГО : | | | | 2500 |

Ограничения представлены в таблице 7.6.

Таблица 7.6. Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения/допущения |
|--|-----------------------|
| 3.1. Бюджет проекта | 23000 |
| 3.1.1. Источник финансирования | Мэн Цинъян |
| 3.2. Сроки проекта: | 01.09.2015-01.06.2017 |
| 3.2.1 Дата утверждения плана управления проектом | 15.10.2015 |
| 3.2.2. Дата завершения проекта | 31.05.2017 |

7.5 План проекта

Календарный план в виде диаграммы Ганта представлен в таблице 7.7

Таблица 7.7 – Диаграмма Ганта

| Код работы | Вид работ | Исполнители | Т _к , кал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|---|
| | | | | февраль | | | март | | | апрель | | | май | | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Составление ТЗ | Руководитель | 5 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Изучение методов и средств | Студент | 5 | ▨ | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Проведение экспериментов | Студент Руководитель | 20 | | ▨ | ▨ | | | | | | | | | | |
| 4 | Анализ полученных результатов | Студент Руководитель | 60 | | | | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | | | | |
| 5 | Разработка аппаратной части | Студент Руководитель | 30 | | | | | | | | ▨ | ▨ | ▨ | | | |
| 6 | Программирование | Руководитель, Студент | 20 | | | | | | | | | | ▨ | ▨ | | |
| 7 | Написание отчета о проделанной работе | Руководитель, Студент | 10 | | | | | | | | | | | | ▨ | ■ |



– Руководитель



– Студент

7.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

В данной научной разработке планируемыми расходами являются изготовление платы сбора данных, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером.

7.6.1 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. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ» приведён в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Спецоборудование для научных работ

| Наименование оборудования | Количество единиц оборудования | Цена единицы оборудования, р. | Общая стоимость оборудования, р. |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Ноутбук Lenovo | 1 | 10000 | 10000 |
| Плата сбора данных | 2 | 3000 | 6000 |

Так как цена на оборудование меньше 20000 рублей, то на данное оборудование амортизационные отчисления не начисляются.

7.6.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

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

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (0.1)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб} \quad (0.2)$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}} \quad (0.3)$$

где $З_{м}$ – оклад работника;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в год;

$F_{д}$ – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{м} = З_{б} \cdot (k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} \quad (0.4)$$

где $З_{б}$ – базовый оклад, р.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад $Z_б$ определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т. д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Расчет основной заработной платы сведён в таблицу 7.9.

Таблица 7.9 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | $Z_б$,руб. | $k_{пр}$ | $k_{д}$ | $k_{р}$ | $Z_м$,руб | $Z_д$,руб | T_p , мес. | $Z_{осн,ру}$ б. |
|--------------|-------------|----------|---------|---------|------------|------------|-----------------|--------------------|
| Руководитель | 23264,86 | 1,30 | 1,05 | 1,30 | 71074,15 | 2992,60 | 95 | 2842 96,59 |
| Студент | 11300,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 11300,00 | 393,04 | 115 | 4520 0,00 |

7.6.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала и отчисление на социальные нужды

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (0.5)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, р.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, р.;

Статья отчисление на социальные нужды включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}); \quad (0.6)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и прочие).

В таблице 7.10 приведена форма заработной платы с учетом налоговых отчислений на социальные нужды.

Таблица 7.10 – Заработная плата работников

| Заработная плата | Руководитель | Дипломник |
|--------------------------------------|--------------|-----------|
| Основная зарплата, р. | 284296,59 | 45200 |
| Дополнительная зарплата, р. | 34115,59 | 0 |
| Отчисление на социальные нужды, р. | 95523,65 | 0 |
| Итого по статье $C_{\text{зп}}$, р. | 459135,84 | |

7.6.4 Прочие расходы

Под прочими расходами понимаются расходы на потребляемую электроэнергию. Для ТПУ цена за 1кВт·ч электроэнергии составляет 4,36 р.. Тогда расход по данной статье определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{т}} \cdot t_{\text{ч}} \cdot T_{\text{д}} \cdot M \quad (0.7)$$

где $C_{\text{т}}$ – тарифная цена за за 1кВт·ч электроэнергии;

$t_{\text{ч}}$ – число рабочих часов в 1 рабочем дне;

$T_{\text{д}}$ – число рабочих дней, в течении которых велись работы;

M – потребляемая мощность.

$$C_{\text{пр}} = 4,36 \cdot 8 \cdot 115 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 216,38 \text{ р.} \quad (0.8)$$

7.6.5 Накладные расходы

В расчетах эти расходы принимаются в размере 35 - 70 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (0.9)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,4 \cdot 363612,18 = 145444,87 \text{ р.} \quad (0.10)$$

7.6.6 Группировка затрат по статьям

Таблица 7.11 – Группировка затрат по статьям

| Статьи | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|
| Специальное оборудование | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Прочие прямые расходы | Накладные расходы | Итого плановая себестоимость |
| 16000 | 329496,589 | 34115,591 | 95523,654 | 216,38 | 145444,87 | 620797,086 |

7.6.7 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 I_{Φ}^p и ресурсоэффективности I_m^p .

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают I_{Φ}^p в ходе оценки бюджета затрат для вариантов исполнения научного исследования. Для разрабатываемого профилометра аналогом является профилометр компании «RIFTEK» рыночная цена которого составляет 513000 рублей. Из этого следует, что затраты на разработку будут являться наибольшим интегральным показателем реализации технической задачи Φ_{max} .

Интегральный финансовый показатель разработки I_{Φ}^p определяется :

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{620797,08}{620797,08} = 1; \quad (0.11)$$

Интегральный финансовый показатель аналога I_{Φ}^a :

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{513000}{620797,08} = 0,82; \quad (0.12)$$

Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения определяется как сумма произведений балла критерия на его оценку. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитан в таблице 7.12.

Таблица 7.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерий | Весовой коэффициент | Текущий проект | Аналог |
|--|---------------------|----------------|--------|
| 1. Способствует росту производительности | 0,1 | 5 | 5 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 4 | 3 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,15 | 5 | 3 |
| 4. Энергосбережение | 0,2 | 5 | 2 |
| 5. Надежность | 0,25 | 4 | 5 |
| 6. Материалоемкость | 0,15 | 5 | 3 |
| Итого | 1 | 28 | 21 |

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ определяется так:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p} = \frac{4,6}{1} = 4,6; \quad (0.13)$$

Интегральный показатель эффективности аналога $I_{финр}^a$ определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} = \frac{3,5}{0,82} = 4,27; \quad (0.14)$$

Сравнение интегральных показателей эффективности текущего проекта и аналога позволяет определить сравнительную эффективность проекта $\mathcal{E}_{\text{ср}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{4,6}{4,27} = 1,08. \quad (0.15)$$

Результаты расчетов сравнительной эффективности проекта приведены в таблице 7.13.

Таблица 7.13 – Сравнительная эффективность проекта

| Показатели | Аналог | Разработка |
|---|--------|------------|
| Интегральный финансовый показатель разработки | 0,82 | 1 |
| Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,5 | 4,6 |
| Интегральный показатель эффективности | 4,27 | 4,6 |
| Сравнительная эффективность проекта | 1,08 | |

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Как видно из таблицы, разработка рельсового профилометра выгоднее с точки зрения ресурсоэффективности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Мэн Цинъян, Степанов А. Б. Распределенная интеллектуальная система контроля индивидуального потребления воды в жилом доме. Информационно-измерительная техника и технологии: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции с международным участием, Томск, 27 – 30 Мая 2015. Принята к печати.
2. Жевтун, Е. С. Мэн Цинъян Контроль расстояния до электропроводящей поверхности с помощью вихретокового преобразователя // 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. – с.5.