

**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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Измеритель толщины оболочки секторной жилы электрического кабеля

УДК 620.179.14

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4Б	Ван Юй		

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
Заведующий кафедрой менеджмента,	Чистякова Н. О.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.	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		

Томск – 2016 г.

## Планируемые результаты обучения по программе 1БМ4Б (магистратура)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Способность 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 (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	Способность участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (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	Способность эксплуатировать и обслуживать современные средства 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 (ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы, использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способность планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в	Требования ФГОС (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон	
	области знаний, соответствующей выполняемой работе.	международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>	
P6	Способность 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>	
<i>Универсальные компетенции</i>			
P7	Способность 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	Способность эффективно работать индивидуально, в команде по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3) Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>	
P9	Способность 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	Способность 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) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>	
P11	Готовность 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 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)  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_

(Дата)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

\_\_\_\_\_

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4Б	Ван Юй

Тема работы:

Измеритель толщины оболочки секторной жилы электрического кабеля

Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.02.2015 № 1286/с
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="805 253 1532 349">1. Толщина изоляционной оболочки секторной жилы кабеля: 1мм – 3мм.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 351 1532 403">2. Режим работы: непрерывный.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 405 1532 501">3. Допустимая погрешность измерения не более <math>\pm 5\%</math>.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 504 1532 600">4. Температура окружающего воздуха от <math>0^{\circ}\text{C}</math> до <math>+50^{\circ}\text{C}</math>.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 602 1532 745">5. Электропитание от промышленной сети переменного тока напряжением <math>220\text{В}\pm 20\%</math> и частотой питающей сети от 47 Гц до 63 Гц</td> </tr> </table>	1. Толщина изоляционной оболочки секторной жилы кабеля: 1мм – 3мм.	2. Режим работы: непрерывный.	3. Допустимая погрешность измерения не более $\pm 5\%$ .	4. Температура окружающего воздуха от $0^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ .	5. Электропитание от промышленной сети переменного тока напряжением $220\text{В}\pm 20\%$ и частотой питающей сети от 47 Гц до 63 Гц
1. Толщина изоляционной оболочки секторной жилы кабеля: 1мм – 3мм.						
2. Режим работы: непрерывный.						
3. Допустимая погрешность измерения не более $\pm 5\%$ .						
4. Температура окружающего воздуха от $0^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ .						
5. Электропитание от промышленной сети переменного тока напряжением $220\text{В}\pm 20\%$ и частотой питающей сети от 47 Гц до 63 Гц						
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="805 795 1532 891">1. Обзор существующих методов и средств измерения толщины изоляции.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 893 1532 945">2. Экспериментальное исследование</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 947 1532 999">3. Обработка данных и анализ погрешности</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 1001 1532 1097">4. Разработка программной вычислительной обработки сигналов</td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 1099 1532 1151">5. Определение погрешности</td> </tr> </table>	1. Обзор существующих методов и средств измерения толщины изоляции.	2. Экспериментальное исследование	3. Обработка данных и анализ погрешности	4. Разработка программной вычислительной обработки сигналов	5. Определение погрешности
1. Обзор существующих методов и средств измерения толщины изоляции.						
2. Экспериментальное исследование						
3. Обработка данных и анализ погрешности						
4. Разработка программной вычислительной обработки сигналов						
5. Определение погрешности						
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>						
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>						
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>					
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Чистякова Н. О. Заведующий кафедрой менеджмента, к.э.н</p>					
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Ю. В. к.т.н, доцент</p>					
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>						


<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	22.09.2014г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4Б	Ван Юй		

**·ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4Б	Ван Юй

<b>Институт</b>	<b>институт неразрушающего контроля</b>	<b>Кафедра</b>	<b>кафедра физических методов и приборов контроля качества</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>магистратура</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>приборостроение</b>

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Заведующий кафедрой менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ4Б	Ван Юй		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4Б	Ван Юй

<b>Институт:</b>	институт неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	кафедра физических методов и приборов контроля качества
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	приборостроение

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<p>Объект исследования: измеритель толщины оболочки секторной жилы электрического кабеля.</p> <p>Оборудование для проведения исследований: индуктивные датчики расстояния, источник постоянного тока, мультиметр, компьютер, модуль ЦАП/АЦП</p>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень электромагнитного и электростатического полей.</li> <li>- повышенный уровень шума.</li> <li>- недостаточная освещённость.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- опасность поражения электрическим током.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность</b></p>	<p>Вредных факторов оказывающих негативное влияние на окружающую среду при разработке устройства не наблюдается.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.</li> </ul>	<p>Вероятны следующие ЧС: пожар.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b></p>	<p>К исследовательской работе допускаются беременные женщины и люди имеющие болезни связанные с дыхательной системой</p>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Учёная степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ4Б	Ван Юй		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 140 с., 55 рис., 36 табл. 34 источников, 2 прил.

Ключевые слова: вихретоковый преобразователь расстояния, измерение толщины изоляционной оболочки, секторная жила кабеля, виртуальный прибор LABView, вихретоковый контроль.

Объектом исследования является секторная жила электрического кабеля.

Цель работы – проанализировать существующие методы и средства измерения толщины изоляции, проанализировать возможность применения накладного вихретокового преобразователя, разработать структурную схему измерителя, провести экспериментальное исследование вихретокового метода и разработать прибор для измерения толщины изоляционной оболочки секторной жилы.

Методология проведения работы и аппаратура: определение зависимости амплитуды выходного напряжения вихретокового преобразователя от различных параметров, выбор оптимального преобразователя, проектирование и разработка вихретокового толщиномера с использованием LABView, проектирование механики, оценка точности прибора.

В результате исследования доказана возможность использования вихретокового метода для измерения толщины оболочки секторной жилы. Получены зависимости выходного напряжения вихретокового преобразователя от изменения расстояния между корпусом преобразователя и поверхностью жилы кабеля. На основе LABView, реализовано непрерывное измерение толщины изоляционной оболочки секторной жилы кабеля с высокой точностью.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: толщина изоляционной оболочки секторной жилы кабеля: 1мм – 3мм.

Степень внедрения: создан макет толщиномера изоляционной оболочки секторной жилы.

Область применения: контроль толщины изоляционной оболочки секторной жилы в кабельном производстве.

Экономическая эффективность/значимость работы: позволит обеспечить эффективный контроль толщины изоляционной оболочки секторной жилы.

В будущем планируется разработать автоматическую калибровку для разных жил.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

### **Нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты

1. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
2. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях
3. ГОСТ 12.1.045-84 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки
5. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
6. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности
7. ГН 2.1.6.695-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест
8. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

### **Определения**

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

*Вихретоковый неразрушающий контроль* – неразрушающий контроль, основанный на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля этим полем.

*Вихретоковый преобразователь* – устройство, состоящее из одной или нескольких индуктивных обмоток, предназначенных для возбуждения в

объекте контроля вихревых токов и преобразования зависящего от параметров объекта электромагнитного поля в сигнал преобразователя.

*Виртуальный прибор* – концепция, в соответствии с которой организуются программно-управляемые системы сбора данных и управления техническими объектами и технологическими процессами, при которой система организуется в виде программной модели некоторого реально существующего или гипотетического прибора, причём программно реализуются не только средства управления (рукоятки, кнопки, лампочки и т. п.), но и логика работы прибора. Связь программы с техническими объектами осуществляется через интерфейсные узлы, представляющие собой драйверы внешних устройств — АЦП, ЦАП, контроллеров промышленных интерфейсов и т. п.

*Аппроксимация* – определение в явном виде параметров функции, описывающей распределение точек.

### **Сокращения**

ВТП – вихретоковый преобразователь;

ПК – персональный компьютер;

ЭК – экран.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЗОРНАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1. Механический метод.....	5
1.2. Ультразвуковой метод.....	9
1.3. Ёмкостный метод .....	13
1.4. Радиационный метод (рентгенография) .....	16
1.5. Магнитный метод.....	21
1.6. Вихретоковый метод.....	23
1.7. Выбор метода .....	31
2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ.....	33
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....	37
3.1. Исследование зависимости выходного сигнала преобразователя от изменения расстояния .....	37
3.2. Анализ причины появления погрешности.....	42
3.3. Исследования взаимодействия преобразователей.....	46
4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ И АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ .....	48
4.1. Определение функции зависимости расстояния от выходного напряжения .....	48
4.2. Определение погрешности аппроксимации .....	50
5. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И АЛГОРИТМ.....	51
5.1. Структурная схема .....	51
5.2. Алгоритм вычислительного преобразования .....	54
6. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ.....	56
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРА .....	62
8. КОНСТРУКЦИЯ.....	64

9. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	66
10. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	95
11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
12. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА .....	104
13. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	118

## **ВВЕДЕНИЕ**

Кабели и провода — это важнейшие изделия. Кабельную промышленность отличают высокая технологичность, энергоёмкость, ресурсоёмкость и высокая степень автоматизации производства. Технический уровень кабельных изделий отражает уровень экономического и технического развития промышленности страны в целом.

Качество кабельных изделий характеризуется различными геометрическими и электрическими параметрами, как правило, связанными друг с другом. Толщина изоляционной оболочки является важным параметром. По отношению к высоковольтным кабелям, она непосредственно касается электробезопасности, с другой стороны, с точки зрения экономии расхода дорогостоящего сырья и материалов, измерение толщины изоляционной оболочки кабеля также является актуальной задачей.

Силовые кабели изготавливаются с одной, двумя, тремя и четырьмя токоведущими жилами. В качестве материала жил используется медь и алюминий. В зависимости от требуемой гибкости кабеля жилы могут быть однопроволочные и многопроволочные, обладающие большой гибкостью. Для кабелей стационарной прокладки изготавливают жилы круглой и фасонной (сегментной и секторной) формы. Применение секторных и сегментных жил вместо круглых позволяет уменьшить диаметр кабеля на 20 - 25 %, соответственно сократить расход материалов на оболочку, защитные покровы и изоляцию, что существенно снижает стоимость кабеля [1].

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 «Измерение толщин и наружных размеров - Измерение толщины и наружных размеров изоляции и оболочек кабелей», для жил секторной формы проводят шесть измерений, как показано на рисунке 1 (м.т. — минимальная толщина) [2].

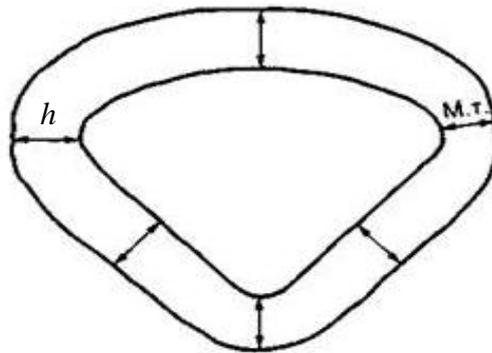


Рисунок 1. Шесть точек измерения толщины изоляции для секторной жилы

Измерение геометрических параметров кабеля должно происходить в режиме реального времени непосредственно в технологическом процессе. По сравнению с другими методами, вихретоковый метод обладает высокой скоростью контроля, малым влиянием внешних факторов, возможностью автоматизации процесса контроля.

## **1. ОБЗОРНАЯ ЧАСТЬ**

Для измерения толщины изоляционной оболочки кабеля, применяются различные методы и средства, в том числе, механический, ультразвуковой, ёмкостный, радиационный, вихретоковый.

### **1.1. Механический метод**

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98, измерительный микроскоп или профильный проектор не менее 10-кратного увеличения. При измерении толщины изоляции менее 0,5 мм применяют средства измерений, имеющие цену деления 0,01 мм и позволяющие снимать показания с точностью до трех десятичных знаков. В спорных случаях следует применять измерительный микроскоп.

С изоляции удаляют все покрытия и жилу извлекают вместе с сепаратором (если таковой имеется); при этом следует принять меры, чтобы не повредить изоляцию. Электропроводящие внутренние и/или внешние слои не следует отделять от изоляции, если они плотно к ней прилегают. Каждый образец должен представлять собой тонкий срез изоляции. Изоляцию срезают при помощи соответствующих инструментов (острый нож, лезвие бритвы и т.п.) вдоль плоскости, перпендикулярной продольной оси токопроводящей жилы. Образец помещают в измерительный прибор так, чтобы поверхность среза была перпендикулярна оптической оси.

При толщине изоляции 0,5 мм и более измерение проводят с точностью до двух десятичных знаков, при толщине изоляции менее 0,5 мм — с точностью до трех десятичных знаков. [2]

#### **Оценка**

Преимущества механического метода следующие: высокая точность. Но основные недостатки: разрушающий метод, необходимость подготовки

образцов измерения, ручное управление и невозможность выполнения автоматических измерений.

## Приборы



Рисунок 1.1. Внешний вид проектора профильного CPJ-3015

Проектор профильный CPJ-3015 (рисунок 1.1) предназначен для измерения, контроля линейных и угловых размеров в проходящем и отраженном свете в прямоугольной и полярной системах координат с использованием цифровой обработки и выводом результатов измерения на компьютер. Его основные характеристики показаны на таблице 1. [3].

Таблица 1. Основные технические характеристики прибора.

Проектор профильный CPJ-3015	
Диаметр экрана, мм	300
Линейное увеличение, крат	10; 20; 50; 100;
Пределы измерений, мм	
в продольном направлении	150
в поперечном направлении	75
в вертикальном направлении	90
Дискретность отсчета, мм	0,001



Рисунок 1.2. Внешний вид измерительного микроскопа ETALON

Характеристики измерительного микроскопа ETALON TCM 100, показанного на рисунке 1.2 :

Цифровой дисплей с разрешающей способностью 0,0005 мм / 0,00002 дюйма.

Высокая точность измерений с погрешностью в пределах 6 мкм на 100 мм.

Великолепная телецентрическая оптика, дающая отличное изображение при увеличении до 1000х.

#### **Патентный поиск**

Существуют много патентов изобретений, реализующих механические методы, например, «Измеритель толщины изоляционной оболочки многожильного кабеля» (№ CN 104215207 A). [4]

Данный измеритель предназначен для измерения толщины изоляционной оболочки многожильного кабеля без снятия изоляционной и защитной оболочек от жилы с высокой точностью и скоростью.

При измерении следует зафиксировать кабель в зажиме 11, включить двигатель 10. Приводной ремень 19 приводит ножницы 21 в движение с высокой скоростью, одновременно включается горизонтальный двигатель 3, выполняющий вырезание кабеля. После этого достигается положение сечения кабеля, при котором сечение находится в области видимости камера 7 с большим обзором и малым увеличением. Фото, полученное камерой, обрабатывается ЭВМ и находится зона, в которой толщина изоляции минимальна. Далее устанавливается положение сечения кабеля для того, чтобы найденная зона находилась в области видимости камеры 8 с малым обзором и большим увеличением. Определяется точное значение толщины изоляции ЭВМ. На рисунке 1.3 показан внешний вид измерителя по данному патенту.

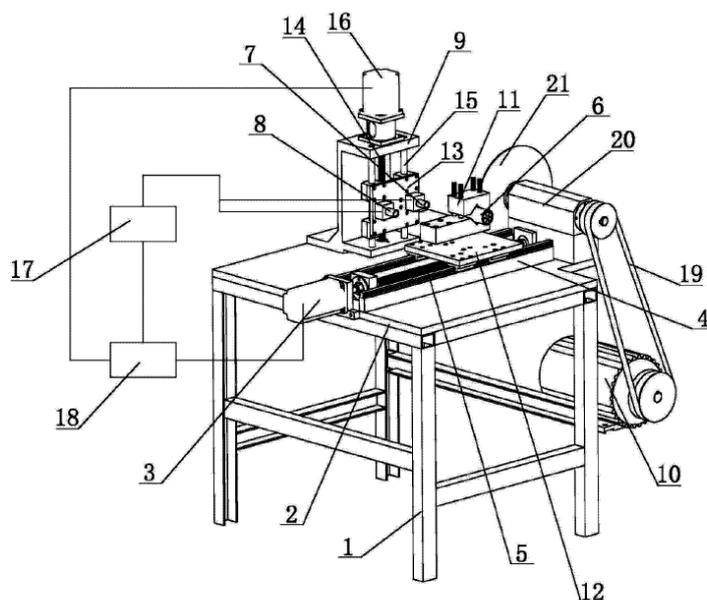


Рисунок 1.3. Внешний вид измерителя по патенту № CN

Много похожих патентов существуют: «Измеритель толщины стенки для кабеля» (№ CN204359238 (U)), «Измерительное прибор толщины для кабеля, изоляции и оболочки оптического кабеля» (№ CN202229733 (U)) и т.д.

## 1.2. Ультразвуковой метод

Акустический метод основан на возбуждении и регистрации параметров упругих механических колебаний в контролируемом изделии. Для ультразвуковых толщиномеров характерно наличие ультразвукового датчика в зонде, который посылает импульс через анализируемое (чаще всего неметаллическое) покрытие. Импульс отражается от поверхности и затем преобразуется датчиком в высокочастотный электрический сигнал. Эхо-сигнал оцифровывается и анализируется для определения толщины покрытия. Коротко говоря, принцип работы основан на измерении времени прохождения акустического сигнала и вычислении расстояния, проходимого акустической волной, как показано на рисунке 1.4.

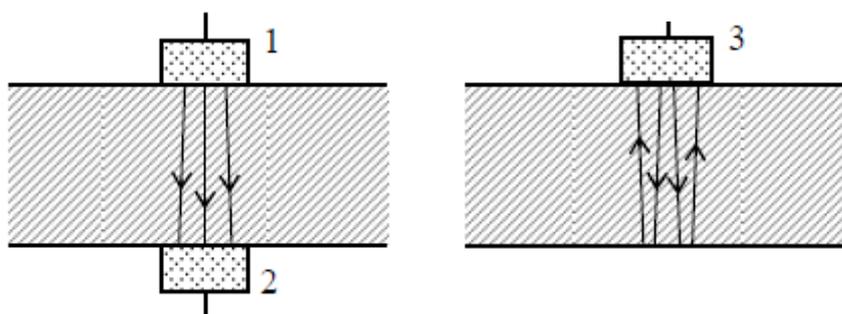


Рисунок 1.4. Акустический преобразователь измерения толщины:

1 — источник; 2 — приемник; 3 — совмещенный источник/приемник

### Оценка

Основные преимущества акустического контроля следующие: возможность контроля изделий из самых различных металлических и неметаллических материалов независимо от их электропроводности, диэлектрической и магнитной проницаемости. Сравнительно небольшие затраты на контроль. Кроме контактной жидкости и довольно долговечных преобразователей никаких расходных материалов не требуется. Мобильность и адаптивность: возможность выполнять контроль, например, на высоте, в монтажных условиях, в широком диапазоне температур. Относительная легкость автоматизации.

Основные недостатки акустических методов, относящиеся прежде всего к высокочастотным методам: трудность или невозможность контроля изделий из неоднородных, крупнозернистых материалов; требование ровной, гладкой поверхности ввода акустического сигнала; трудность или невозможность контроля изделий малых размеров и сложной конфигурации. Как раз в нашем случае поверхность и внутренняя структура секторных жил неоднородны, толщины изоляции малы, разница времени прохождения акустического импульса, которые отражаются на разных границах незначительна. [5]

### **Прибор**

Устройство контроля толщины изоляции УКТ-2 (на рисунке 1.5) служит для измерения толщины битумных и полиэтиленовых изоляционных покрытий стальных трубопроводов. УКТ-2 – малогабаритный переносной прибор непрерывного действия, простой и удобный в эксплуатации.

Прибор имеет оригинальную конструкцию и выполнен в виде моноблока, содержащего измерительный датчик, микропроцессорную схему обработки, органы управления и индикации. Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи. В комплект поставки входят также зарядное устройство, набор образцовых мер и оснований. Предусмотрен режим калибровки устройства на различные диаметры труб. Полученные тарировочные константы сохраняются в памяти устройства после выключения питания. Его основные характеристики показаны на таблице 2. [6]



Рисунок 1.5 Внешний вид устройства контроля толщины

Таблица 2. Технические характеристики

Диапазон измерения толщины изоляции, мм	1-10
Основная приведенная погрешность измерения	$\pm 5\%$
Диаметр труб, для которых контролируется толщина изоляции, мм	32, 57, 89, 108, 133, 159
Напряжение питания, В	$7,2 \pm 0,7$
Ток потребления, не более, А	0,08
Индикация	цифровая
Сигнализация измерения	звуковая
Сигнализация разряда аккумуляторов	визуальная

#### **Патентный поиск**

Патент «Измерение толщины оболочки кабеля» (№ JPS6038610 (А)) по ультразвуковому методу. [7]

Для достижения более высокой точности в обнаружении толщины оболочки кабеля путем измерения толщины оболочки эталонного образца и контролируемого кабеля с помощью ультразвукового датчика. Контрольный образец изготавливается из того же материала, что и кабель. Пластмассы выдавливаются через кабель сердечника 2 из экструдера 1, чтобы сделать

покрытие. В обычном процессе, импульс излучается к кабелю 3 и сравнительного образца 6 от ультразвуковых датчиков 7 и 8, и отраженный импульсы поступают с датчиков 7 и 8, чтобы измерить толщину оболочки контрольного образца 6 и кабеля 3 отдельно. Измеренные значения толщины покрывающего пройти заданный вычисление с вычислительным блоком 9, чтобы определить толщину оболочки кабеля 3, а результаты отображаются на дисплее 10. Структурная схема показана на рисунке 1.6.

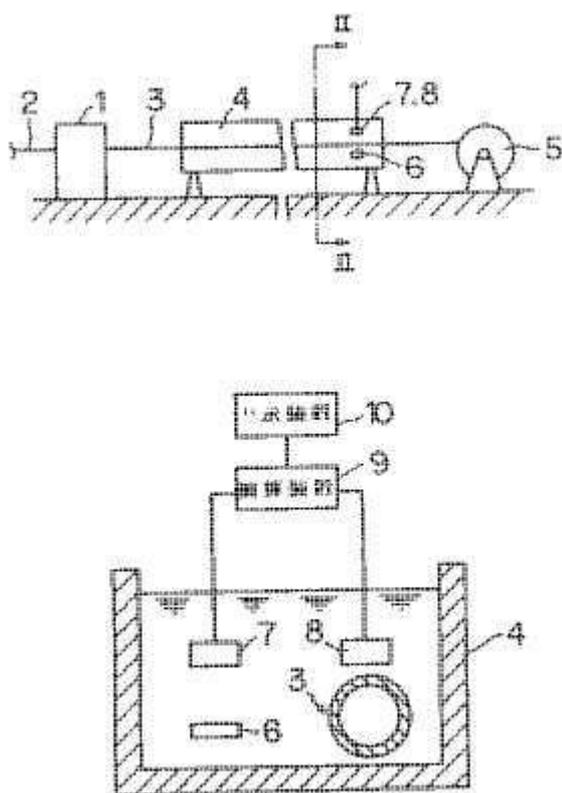


Рисунок 1.6. Структурная схема прибора по патенту № JPS6038610 (A)

Метод для измерения толщины оболочки кабеля (№ JPS6017308 (A)), метод для измерения толщины изоляционной оболочки кабеля (JPS62170807 (A)), измерительной прибор для измерения толщины оболочки кабеля (JPS5797404 (A) тоже по акустическому методу.

### 1.3. Ёмкостный метод

Ёмкостный метод измерения толщины основан на зависимости комплексного электрического сопротивления конденсатора от зазора между преобразователем и проводящим основанием, на которое нанесено изоляционное покрытие.

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью  $S$  каждая, расположенных на расстоянии  $d$  друг от друга, выражается формулой:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 S / d,$$

где  $\varepsilon_r$  — относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице),  $\varepsilon_0$  — электрическая постоянная, равная  $8,854187817 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

На основе конденсатора, у которого электрическое поле в рабочем зазоре равномерно, могут быть созданы конструкции емкостных датчиков перемещения с переменным зазором между электродами.

Известны емкостные датчики измерителя толщины диэлектрических пленок и покрытий, состоящие из двух электродов, между которыми размещается измеряемая диэлектрическая пленка. В зависимости от толщины пленки изменяется емкость конденсатора, образованного этими электродами, которая измеряется электрическими методами. На рисунке 1.7 показана конструкция ёмкостного преобразователя измерения толщины диэлектрического покрытия.

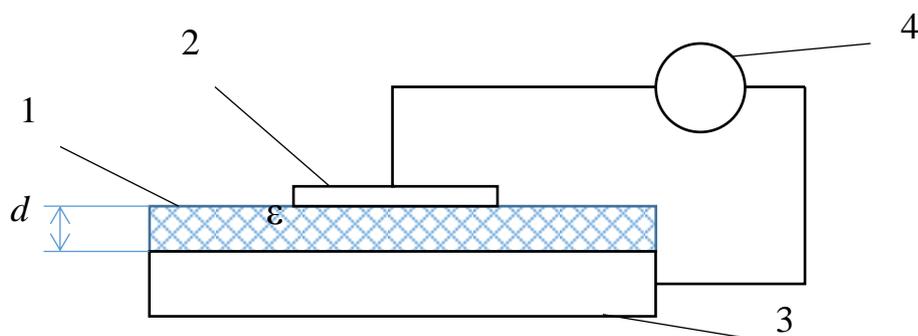


Рисунок 1.7. Ёмкостный метод измерения толщины диэлектрического покрытия: 1 — диэлектрическое покрытие; 2 — ёмкостный датчик; 3 — проводящее основание; 4 — измеритель электрической емкости.

### Оценка

Ёмкостные датчики обладают целым рядом преимуществ по сравнению с датчиками других типов. К их достоинствам относятся следующие.

Простота изготовления, использование недорогих материалов для производства; малые габариты и вес; низкое потребление энергии; высокая чувствительность; долгий срок эксплуатации; возможность автоматизации процесса измерения. Ценные качества ёмкостных датчиков — малая величина механического усилия, необходимого для перемещения его подвижной части, возможность регулировки выхода следящей системы и высокая точность работы.

К недостаткам ёмкостных датчиков следует отнести: необходимость контакта с ОК; сравнительно небольшой коэффициент передачи (преобразования); высокие требования к экранировке деталей; необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте.

### Прибор

На рисунке 1.8 показан ёмкостный толщиномер WH/YMJDC-ШВ [8], изготовленный в провинции Шаньдун Китая. Предназначен для измерения толщины пластмассовой плёнки.

Прибор имеет ёмкостный датчик, микропроцессорную схему обработки, органы управления и компьютерную систему. Ёмкостный толщиномер

WH/YMJDC-IIВ характеризуется высокой стабильностью, высокой точностью, легкостью калибровки, монтажа и наладки. Его основные характеристики показаны в таблице 3.



Рисунок 1.8. Внешний вид ёмкостного толщиномера WH/YMJDC-IIВ:  
а —преобразователь; б — результат измерения на экране компьютера

Таблица 3. Технические характеристики

Тип датчика	ёмкостный
Диапазон измерения	10 мкм – 20 мм
Погрешность	±3 мкм
Напряжение рабочее	380 В

### Патентный поиск

«Прибор для измерения толщины наружного слоя изоляции 2-слойного кабеля» (№ JP2007115461 (A)). [9]

Для измерения толщины наружного слоя изоляции кабеля, состоящей из внутреннего слоя и наружного слоя во время изготовления с неразрушающего и бесконтактного измерения контактного с хорошей точностью. Прибор для измерения толщины наружной изоляции слоя двухслойной кабеля, как показан на рисунке 1.9, состоит из наружного диаметра измерительной части измерения внешнего диаметра кабеля, закрытая внутренним слоем и внешним слоем с бесконтактным оперативного измерения электрической емкости измерительной

части измерения электростатической емкости кабеля с бесконтактного оперативного измерения, а измеренные данные, распознающие часть признания измеренное наружный диаметр и электростатического потенциала кабель, известные данные хранения часть хранения наружный диаметр стержня кабель и диэлектрическая проницаемость материала внутреннего слоя и наружного слоя изоляционного покрытия, программа хранения часть хранения программа расчета рассчитанного на базах формулой статического электричества кабеля, имеющего изоляционное покрытие состоит из внутреннего слой и внешний слой, имеющий диэлектрическую проницаемость отличаются друг от друга, и вычисление часть расчете толщины наружного слоя изоляционного покрова кабеля с помощью программы расчета.

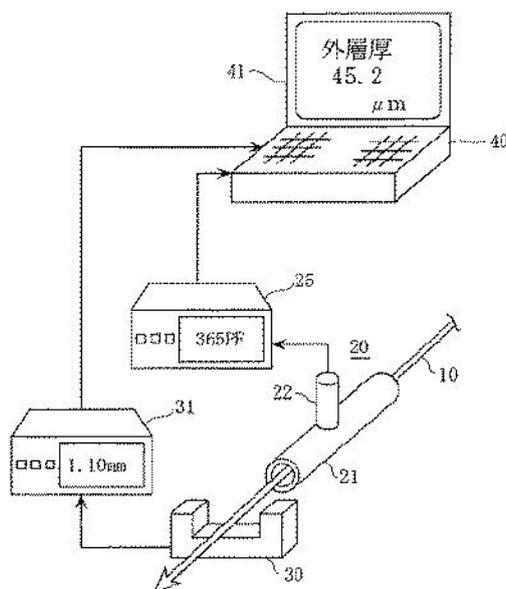


Рисунок 1.9 Структурная схема прибора патента №JP2007115461 (А)

#### 1.4. Радиационный метод (рентгенография)

Радиационный метод основан на взаимодействии проникающих излучений с контролируемым объектом. Проникающие излучения (рентгеновское, потока нейтронов,  $\gamma$ - и  $\beta$ -лучей), проходя через толщ

материала детали и взаимодействуя с его атомами, несут различную информацию о внутреннем строении вещества.

Рентгеновское излучение — электромагнитные волны, энергия фотонов которых лежит на шкале электромагнитных волн между ультрафиолетовым оптическим излучением и гамма-излучением, что соответствует длинам волн от  $10^{-2}$  до  $10^2$  Å (от  $10^{-12}$  до  $10^{-8}$  м).

Длина волны рентгеновских лучей сравнима с размерами атомов, поэтому не существует материала, из которого можно было бы изготовить линзу для рентгеновских лучей. Кроме того, при перпендикулярном падении на поверхность рентгеновские лучи почти не отражаются. Несмотря на это, в рентгеновской оптике были найдены способы построения оптических элементов для рентгеновских лучей. В частности выяснилось, что их хорошо отражает алмаз.

Рентгеновские лучи могут проникать сквозь вещество, причём различные вещества по-разному их поглощают. Поглощение рентгеновских лучей является важнейшим их свойством в рентгеновской съёмке. Интенсивность рентгеновских лучей экспоненциально убывает в зависимости от пройденного пути в поглощающем слое:

$$I = I_0 e^{-kd},$$

где  $d$  — толщина слоя, коэффициент  $k$  пропорциональный  $Z^3/\lambda^3$ ,  $Z$  — атомный номер элемента,  $\lambda$  — длина волны).

Поглощение происходит в результате фотопоглощения (фотоэффекта) и комптоновского рассеяния. [10]

Таким образом, можно использовать радиационный метод для измерения толщины покрытия путём измерения интенсивности рентгеновских лучей после просвечивания, как показано на рисунке 1.10.

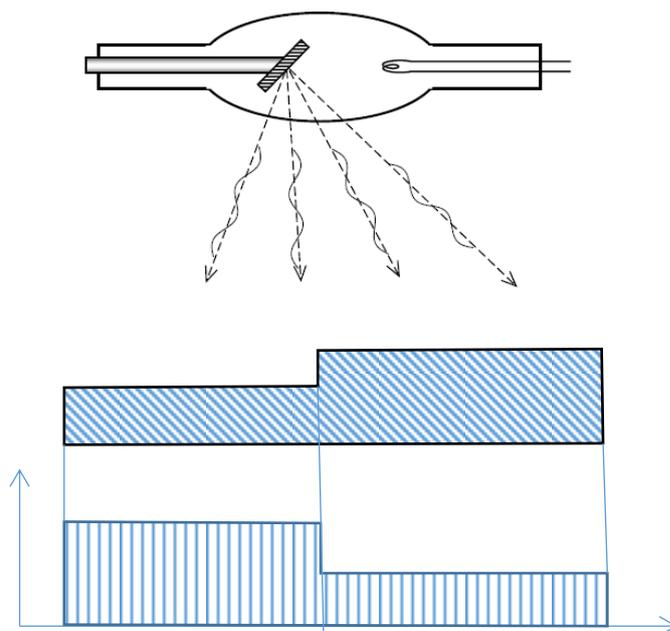


Рисунок 1.10. Схема просвечивания объекта контроля рентгеновским

### Оценка

Преимущества радиометрии: высокая чувствительность (выше, чем у радиографического метода), высокая производительность, возможность бесконтактного контроля качества движущегося изделия, что особенно удобно при поточном производстве (возможно осуществление обратной связи с технологическим процессом). К недостаткам радиационных методов необходимо прежде всего отнести вредность для человека, в связи с чем требуются специальные меры радиационной безопасности: экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне. И внутренние дефекты тоже влияет на результаты измерения толщины.

### Приборы

Система X-RAY 8000 NXT (рисунок 1.11) на основе рентгеновского излучения, используемая при производстве кабелей среднего, высокого и сверхвысокого напряжения, на CCV- VCV- и MDCV-линиях. [11]

X-RAY 8000 NXT выполняет точное измерение геометрических параметров кабеля.

Новые разработки, внедренные в систему X-RAY 8000 NXT стали ее преимуществами. Система на основе рентгеновского излучения, установленная в движущуюся часть телескопической трубы непосредственно после экструдера, обеспечивает эффективность на высоком уровне. Система предназначена для паровых или азотных линий, и выполняет точное измерение значений толщины стенки до 3-х слоев изоляции, concentричности, диаметра и овальности кабелей с XLPE и EPR – оболочкой.

Благодаря применению мультисенсорной технологии (MST) в комбинации с двумя высокоскоростными сканерами, достигается точное измерение в процессе производства. Каждое сканирование MST фиксирует движение кабеля, компенсируя его вибрацию, позволяя получить двойное измерение с каждого сканера. Его основные характеристики показаны на таблице 4.



Рисунок 1.11. Внешний вид X-RAY 8000 NXT

Таблица 4. Технические характеристики X-RAY 8000 NXT

Диапазон измерения (максимальный наружный диаметр) для различных материалов	до 94, 130, 180 мм для CCV-кабеля до 145, 220 мм для VCV-кабеля
точность прибора при	±15 мкм, ± 0.02 %

измерении толщины изоляции	
погрешность толщина	7.5 мкм
Скорость измерения(сканирования)	До 60 мм/с

### **Патентный поиск**

Патент «Метод для измерения толщины стенки пластиковой оболочкой электрического сердечника или кабеля, в частности, силового кабеля» (№ US2008043907 (A1) [12]) по радиационному методу.

Способ измерения толщины стенки пластиковой оболочкой электрического сердечника или кабеля, в частности, силового кабеля, имеющий по меньшей мере одно ядро, в котором поглощающая способность материала, окружающего пластиковую оболочку аппроксимирует или аналогична пластиковой обшивкой, причем сердечник или кабель облучается под прямым углом к его расширению на одной стороне с помощью рентгеновского излучения и толщины стенки, заключенная сердечника или кабеля определяется на противоположной стороне от распределения интенсивности обнаруженного х-гау, отличающийся тем, что материал, из пластиковой обшивки или пластмассового материала, окружающего пластиковую оболочку вспенивают перед измерением толщины стенки с целью модификации его поглощающую способность. На рисунке 1.12 показана схема измерения толщины изоляционной оболочки кабеля по патенту №US2008043907 (A1)

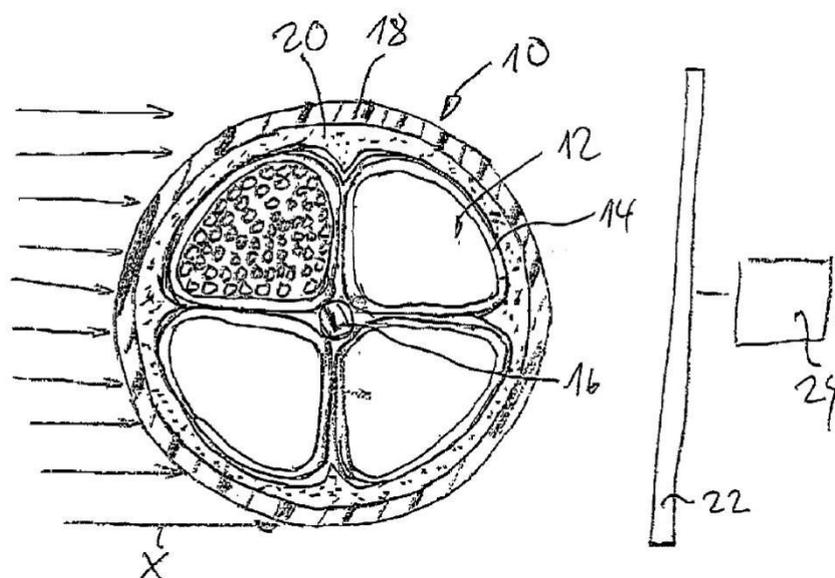


Рисунок 1.12 Схема измерения толщины изоляционной оболочки кабеля по патенту №US2008043907 (A1)

### 1.5. Магнитный метод

Принцип работы магнитных толщиномеров основан на использовании свойств ферромагнетиков. Позволяют производить замер немагнитных покрытий, нанесенных на магнитные основания, как показано на рисунке 1.13. Процесс замера осуществляется на основе оценки силы взаимодействия магнита толщиномера и основания измеряемого покрытия. Изменение толщины покрытия изменяет силу взаимодействия магнита и основания измеряемой специально откалиброванной шкалой.

В основу работы магнитных толщиномеров могут быть положены различные эффекты, основанные на использовании свойств магнитов.

Процесс замера может заключаться в анализе силы взаимодействия постоянного магнита, являющегося неотъемлемым элементом толщиномера, с основанием исследуемого объекта (покрытия). Сила взаимодействия напрямую связана с измеряемой толщиной. Наглядным отображением данной взаимосвязи является откалиброванная шкала прибора. Также в качестве первичного параметра при измерении может быть использована разность

потенциалов, возникающая при помещении исследуемого объекта в магнитное поле (эффект Холла). [13]

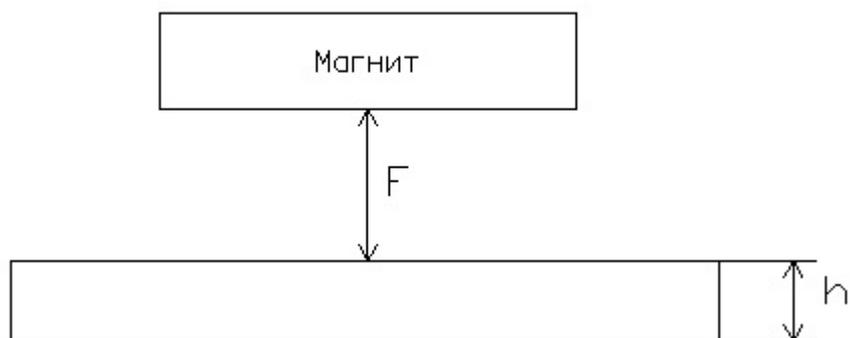


Рисунок 1.13. Принцип измерения толщины покрытия магнитным

### **Оценка**

Магнитные приборы обладают целым рядом различных достоинств – это и широкий диапазон, малая погрешность, обладает самой высокой производительностью. С их помощью можно узнать совершенно любую толщину любого материала - пластмассы, резины, других различных покрытий. Но только могут быть использованы для измерения толщины покрытий на ферромагнитном основании.

### **Прибор**

Толщиномер покрытий МТ-201 (рисунок 1.14) предназначен для измерения толщины покрытий на магнитных металлах /ГОСТ Р 51649, ГОСТ 18353, ИСО 2808/.

Магнитный толщиномер покрытий предназначен для измерения толщины немагнитных покрытий (хром, медь, краска, эмаль, пластик и т.д.) на ферромагнитном основании. Их основные характеристики показаны на таблице 5.

Таблица 5. Основные характеристики магнитного толщиномера покрытий МТ-201 и МТ-201М.

Технические характеристики толщиномера:	MT-201	MT-201M
Диапазон измеряемых толщин:	5 - 2100 МКМ	20 - 5000 МКМ
Основная погрешность:	3%	



Рисунок 1.14. Внешний вид магнитного толщиномера покрытий MT-201

## 1.6. Вихретоковый метод

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 рисунке 1.15 приведен принцип возбуждения вихревого тока в электропроводящих объектах. [16]

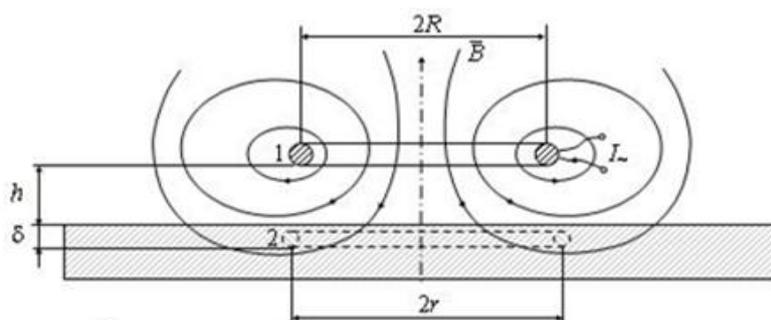


Рисунок 1.15. Круглая обмотка с переменным током : 1 – обмотка с переменным током; 2 – контур вихревого тока

Вихретоковый толщиномер относится к неразрушающему контролю и может быть использовано для измерения толщины диэлектрических покрытий на электропроводящем основании.

### Оценка

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

Т. к. вихревые токи возникают только в электропроводящих материалах, то может быть использован только для измерения толщины диэлектрических покрытий на электропроводящем основании.

### Прибор

Толщиномер ТМ-2 (рисунок 1.16) предназначен для измерения толщины защитных и декоративных покрытий (краски, лаки и т.д), наносимых на ферромагнитный материал. Простота в исполнении, отсутствие сервисных функций таких как память результатов, программирование шкал, усреднение и т.д., но при этом отличные измерительные характеристики и низкая стоимость,

делают этот толщиномер лучшим в соотношении цена/качество. Его основные характеристики показаны на таблице 6.



Рисунок 1.16. Внешний вид вихретокового толщиномера покрытий ТМ-2

Таблица 6. Технические характеристики вихретокового толщиномера покрытий ТМ-2

Диапазон измеряемых толщин	от 0 до 2000 мкм
Минимальная толщина материала основания	не менее 1 мм

ТМ-3 вихретоковый толщиномер (рисунок 1.17) для локального измерения толщины гальванических покрытий предназначен для локального измерения толщины гальванических покрытий таких как цинк, кадмий или хром на стали, а так же таких как серебро или медь на титане и подобных.

Толщиномер имеет память на 5000 результатов измерений (50 файлов по 100 результатов), интерфейс RS232 для подключения к ПК, режим выборочного усреднения результатов и возможность программирования до 10 аппроксимационных шкал, как с клавиатуры прибора, так и с персонального компьютера. Дополнительно, поставляются специализированные

преобразователи с возможностью доступа в труднодоступные места (замер в отверстиях, трубках и т.д.). Его основные характеристики показаны на таблице 7. [16]



Рисунок 1.17. Внешний вид ТМ-3 вихретокового толщиномера

Таблица 7. Технические характеристики вихретокового толщиномера покрытий ТМ-3

Диапазон измеряемых толщин	от 0 до 100 мкм
Дискретность показаний	1, 0.1, 0.01 или 0.001 - задается при программировании шкалы
Точность измерения	в пределах 3% от показаний
Шкалы	15 программируемых с клавиатуры или с ПК, до 10 опорных точек для линейной аппроксимации

Вихретоковый толщиномер покрытий ВТ-201 (рисунок 1.18) предназначен для измерения толщины неметаллических покрытий (краска, эмаль, пластик и т.д.) на немагнитном основании (алюминий, медь, титан) по ГОСТ Р 51694, ГОСТ 18353 и ИСО 2808. На таблице 8 показаны технические характеристики.

Имеется режим "HOLD" - удержание последнего измеренного значения.

Автоматическое выключение питания через 20 минут.

Таблица 8. Технические характеристики вихретоковых толщиномеров ряда ВТ-201.

Технические характеристики:	ВТ-201	ВТ-201.01	ВТ-201.02
Диапазон измеряемых толщин:	5 - 1100 мкм	1 - 500 мкм	500 - 6000 мкм
Основная погрешность:	3%		



Рисунок 1.18. Внешний вид вихретокового толщиномера покрытий VT-201

### **Патентный поиск**

Существует большое число патентов на изобретения, которых используется вихретоковый метод. Например, патент № US4764724A [17], в котором описан «Новый индуктивный датчик для измерения толщины изоляционной оболочки кабеля», предназначенный для измерения толщины изоляционной оболочки кабеля. Его особенность в однородной чувствительной зоне, влияния электромагнитного поля, создаваемого катушкой 4 на объекте контроля. Соответственно результат измерения не зависит от относительного положения датчика и кабеля, поэтому в процессе измерения не надо фиксировать датчик.

Широко применяются индуктивные датчики в области измерения толщины изоляции, но форма поперечного сечения не идеальной окружной, то перемещение положения датчика от кабеля можно возникать погрешность.

Переменный ток, действующий в катушках, создает магнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводном объекте. Магнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них

ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. В случае измерения толщины изоляции, выходным сигналом определяются расстояние между датчиком и проводящей части объекта контроля.

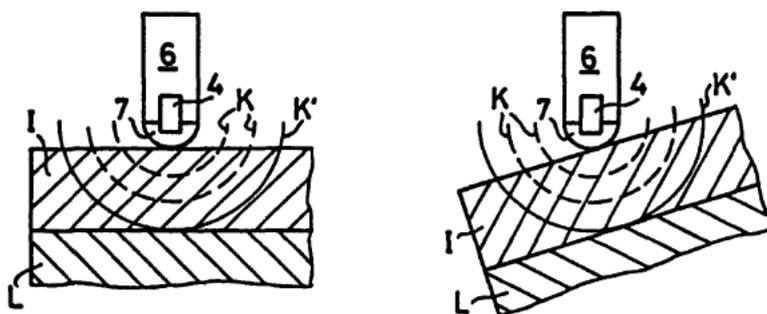


Рисунок 1.19. Новый индуктивный датчик по патенту №US764724A

Катушка 4 спроектирована для того, чтобы изменение интенсивности электромагнитного поля одинаковое для всяких точек в каждой концентрической окружности, плоскость которой перпендикулярна к двухполюсной оси, как показано на рисунке 1.19.

Контактная поверхность данного датчика соответствует с какой-то линией равных потенциалов, то как показано на следующей рисунке, относительное положение датчика и объекта контроля не влияет на результате измерения (рисунок 1.20).

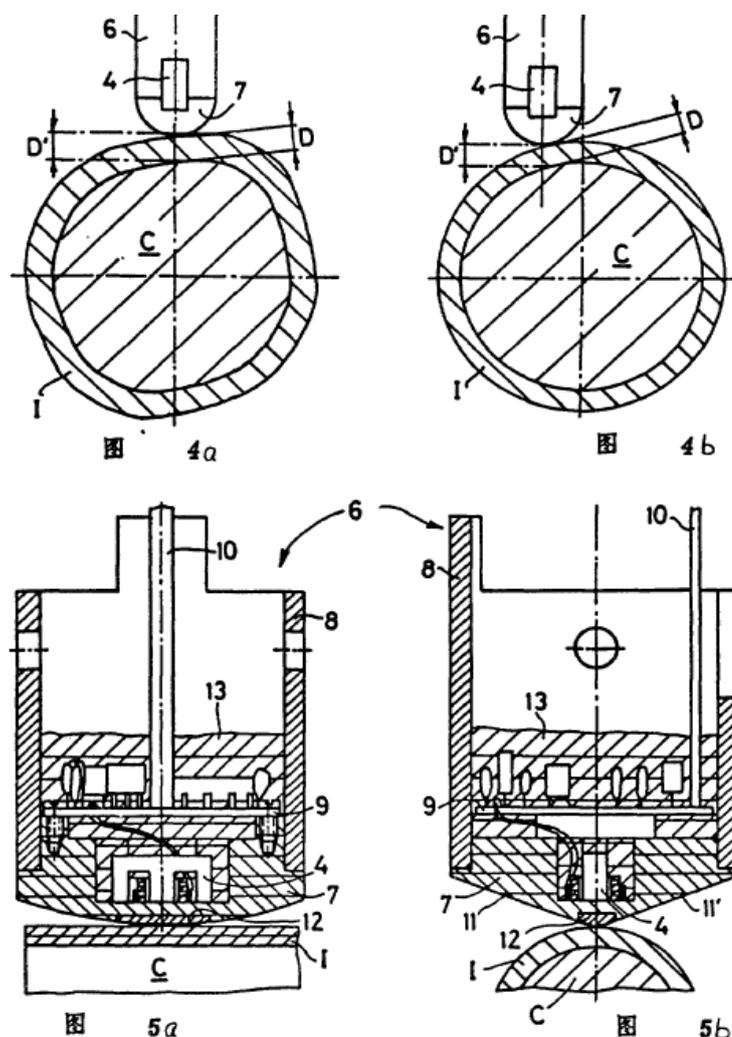


Рисунок 1.20. Измерение толщины оболочки кабеля новым датчиком и его структура

Патент «Метод для измерения внешней толщины стенки покрытие электрического кабеля» (№JPS57506 (A) [18] для измерения безопасно внешнюю толщину стенки покрытие электрического кабеля, не контактируя с помощью фотоэлектрических измерений и электромагнитного измерения вместе.

Сканирующий камеры 10 (рисунок 1.21.) выполнено на верхнем направлении работающей пути электрического кабеля 3, содержащей центральную жилу 1 и наружное покрытие из диэлектрика, нанесенного на него, еще два опорных точек S, S' расположены на обеих сторонах бегущего пути, и датчик для датчика перемещений, включающий высокочастотные катушки 12, 12' размещен на этом Ориентир S, S'. Камера сканирования 10

обнаруживает расстояние между опорными точками  $S, S'$  фотоэлектрического и внешней поверхностью электрического кабеля 3 и высокочастотных катушек 12, 12' обнаружения расстояния между опорными точками  $S, S'$  и центральную жилу 1 электрического кабеля 3 электромагнитно. На основании этих обнаруженных значений, то толщина внешнего покрытия 2 измеряется.

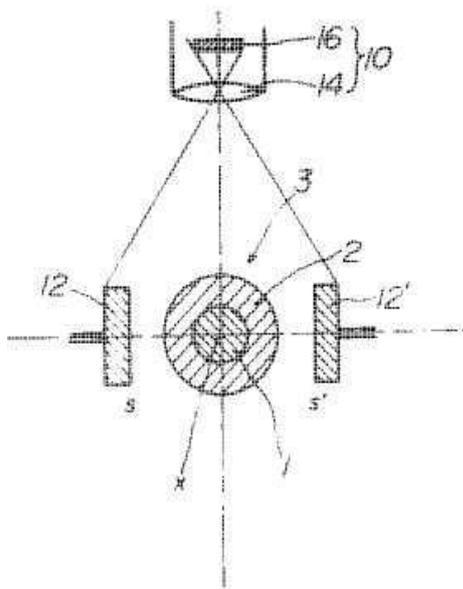


Рисунок 1.21. Метод измерения по патенту №JPS57506 (А)

### 1.7. Выбор метода

Из всего сказанного выше, для нашей задачи, в качестве первичного измерительного преобразователя выбираем вихретоковый датчик расстояния, а с помощью механизма его фиксации реализуется непрерывное автоматическое измерение.

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

Если в производстве реализуем автоматическое непрерывное измерение толщины изоляционной оболочки кабеля секторной жилы, можно экономить 10% расхода и соответственно уменьшить процент браков, улучшать качество кабеля.

## 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

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. [3]

Понижение толщины исследуемого покрытия вызывает уплотнение поля вихревых токов под датчиком и усиление его влияния на амплитуду тока в катушке. Поскольку существует корреляция между толщиной покрытия и плотностью создаваемого поля токов Фуко, это и дает возможность численной оценки толщины покрытия этим методом.

Контроль толщины изоляции при одностороннем доступе проводят накладным вихретоковым преобразователем ВТП, состоящим из возбуждающей ОБ и измерительной ОИ обмоток (рис 2.1). Синусоидальный ток, протекающий по обмотке возбуждения, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля (ОК). Магнитное поле вихревых токов воздействует на обмотки ВТП, наводя в них ЭДС.

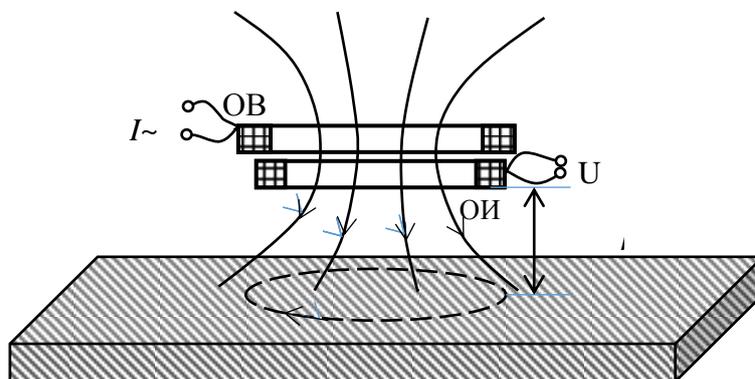


Рисунок 2.1. Принцип измерения толщины накладным вихретоковым преобразователем

Напряжение измерительной обмотки ОИ состоит из двух частей

$$U \cdot = U_0 \cdot + U_{\text{Вн}} \cdot$$

Начальное напряжение  $U_0 \cdot$  наводится в измерительной обмотке в отсутствии объекта контроля за счет индуктивной связи между возбуждающей

и измерительной обмотками ВТП. Вносимое напряжение  $U_{\text{вн}}^{\cdot}$  наводится вихревыми токами, протекающими в объекте контроля. Оба напряжения являются комплексными. Начальное напряжение  $U_0^{\cdot}$  зависит от частоты тока возбуждения и размеров ВТП, а вносимое напряжение  $U_{\text{вн}}^{\cdot}$  определяется также параметрами объекта контроля и взаимным расположением ВТП и ОК.

При контроле толщины листов вносимое напряжение ВТП в общем случае зависит от четырех параметров: один параметр контролируемый - толщина листа  $T$ , и три параметра мешающих - зазор  $h$  между ВТП к листом, изменение магнитной проницаемости и электропроводности. Зависимость  $U_{\text{вн}}^{\cdot}$  от параметров объекта и от режима контроля выражается годографами на комплексной плоскости напряжений. На рисунке 2.2 приведены годографы нормированного вносимого напряжения  $U_{\text{вн}}^* = U_{\text{вн}}^{\cdot} / U_0^{\cdot}$  от обобщенного параметра  $\beta = R_s \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma}$  и от нормированного зазора  $h^* = h / R_s$  для случая контроля неферромагнитного листа с относительной толщиной  $T^* = T / R_s$ , где  $R_s$  - радиус возбуждающей обмотки ВТП;  $\omega$  - круговая частота тока возбуждения;  $\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м;  $\sigma$  - удельная электрическая проводимость материала ОК, Ом/м. Жирной линией выделен годограф  $U_{\text{вн}}^*(\beta)$ , соответствующий полупространству ( $T^* \rightarrow \infty$ ) при  $h^* = 0$ . С ростом обобщенного параметра  $\beta$  увеличиваются модуль и фаза  $\varphi$  вносимого напряжения. При уменьшении толщины объекта контроля вектор  $U_{\text{вн}}^*$  перемещается по кривой АВЕ (для  $\beta = 2.5$ ), в точке В  $T^* = 0,6$  а в точке Е  $T^* = 0,2$ .

На рисунке 2.2 изображен вектор  $U_{\text{вн}}^*$ , конец которого находится в точке В для  $\beta = 2.5$ ;  $T^* = 0,6$  и  $h^* = 0$ . С ростом зазора  $h^*$  конец вектора  $U_{\text{вн}}^*$

описывает годограф ВСД. Убывание модуля вносимого напряжения происходит по экспоненциальному закону

$$U_{вн}^*(h^*) = U_{вн0}^* \cdot e^{-1,5h^*},$$

Где  $U_{вн0}^*$  - модуль вносимого напряжения при  $h^* = 0$ .

Траектория, по которой перемещается конец вектора вносимого напряжения при изменении зазора (пунктирная линия на рисунке 2.2) не является прямой, т.е. при изменении  $h^*$ , кроме изменения модуля  $|U_{вн}^*|$ , происходит изменение фазы  $U_{вн}^*$ . Годографы  $U_{вн}^*(T)$ ,  $U_{вн}^*(\sigma)$  и  $U_{вн}^*(h)$  пересекаются под некоторыми углами, это позволяет подавлять влияние на сигнал ВТП мешающих факторов.

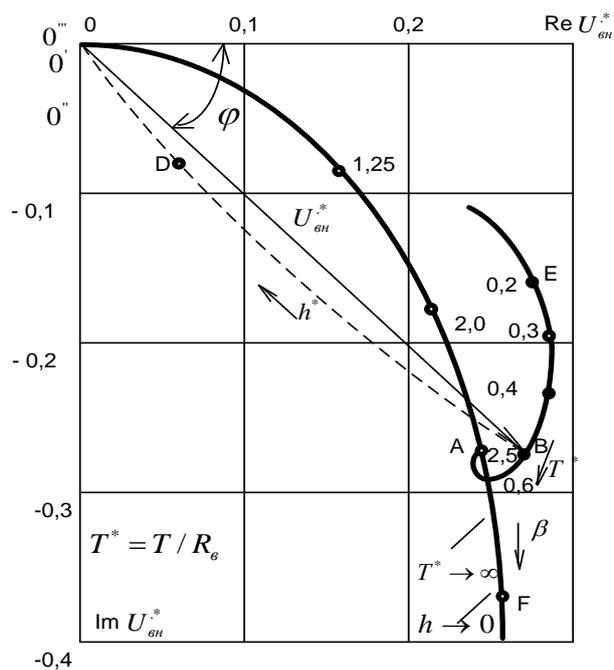


Рисунок 2.2. Годографы вносимых напряжений накладного ВТП

При контроле немагнитных листов, электропроводность которых меняется незначительно, необходимо учитывать только влияние зазора, задача является двухпараметровой и для ее решения достаточно одной рабочей частоты. Отстройка от влияния зазора может производиться

амплитудно-фазовым или фазовым методом. Выбор информативного параметра (амплитуды или фазы) зависит от величины обобщенного параметра  $\beta$  и диапазона изменения толщины  $T^*$ . Так, например, для  $\beta = 2,5$  в диапазоне  $T^*$  от 0,2 до 0,6 за информативный параметр целесообразно принять фазу вносимого напряжения, а для  $T^* < 0,2$  амплитуда вносимого напряжения значительно сильнее зависит от изменения толщины листа, чем фаза.[19]

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1. Исследование зависимости выходного сигнала преобразователя от изменения расстояния

Целью эксперимента являлось экспериментальное исследование зависимости выходного напряжения вихретокового преобразователя от изменения расстояния между корпусом преобразователя и поверхностью жилы кабеля, формы поперечного сечения.

Если форма секторной жилы симметричная, то можно проводить эксперименты для четырёх точек. На рисунке 3.1 приведена схема измерения толщины изоляции кабеля накладным вихретоковым преобразователем.

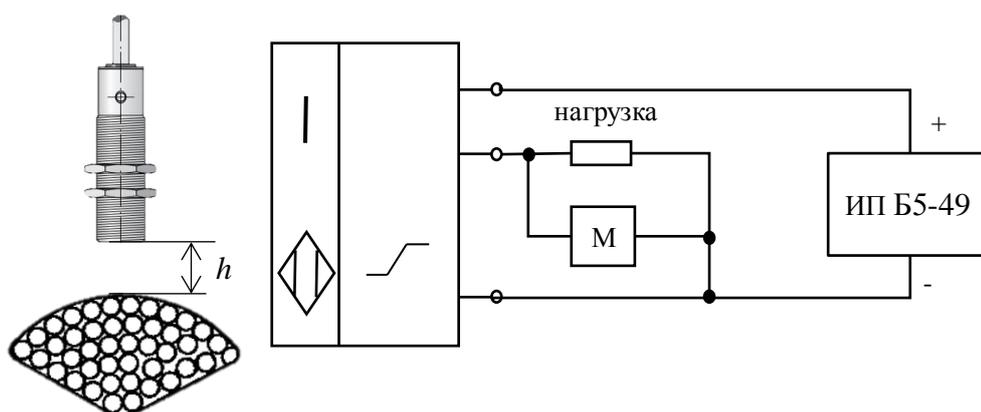


Рисунок 3.1. Экспериментальная схема измерения толщины изоляции кабеля накладным вихретоковым преобразователем

Использовался источник питания постоянного тока Б5-49 как источник энергии. Объектом контроля являлась секторная жила кабеля. С помощью мультиметра (М) измерялось выходное напряжение при постепенном увеличении зазора диэлектрическими прокладками, толщина которых равна 0,184 мм. В качестве измерительного преобразователя использован ДПА-М18-76У-1110-Н. Далее строился график зависимости выходного напряжения преобразователя от изменения зазора между корпусом ВТП и поверхностью жилы кабеля.

Технические характеристики ДПА-М18-76У-1110-Н [20] приведены в таблице 9.

Таблица 9. Основные характеристики ДПА-М18-76У-1110-Н

Диапазон рабочих напряжений	(10 – 30) В DC
Рабочая зона чувствит. элемента	(0,75 – 5) мм
Линейная зона чувствит. элемента	(1,24 – 4) мм
Нелинейность в линейной зоне	5%
Диаметр	M18×1

На рисунке 3.2 показаны зависимости выходного напряжения от зазора между корпусом преобразователя и поверхностями жилы кабеля в разных точках поверхности. При увеличении зазора выходное напряжение возрастает и характеризуется нелинейной зависимостью. Следует отметить, что для рассматриваемых четырёх точек характер изменения похож, но зависимости отличаются друг от друга по причине разной формы поверхности.

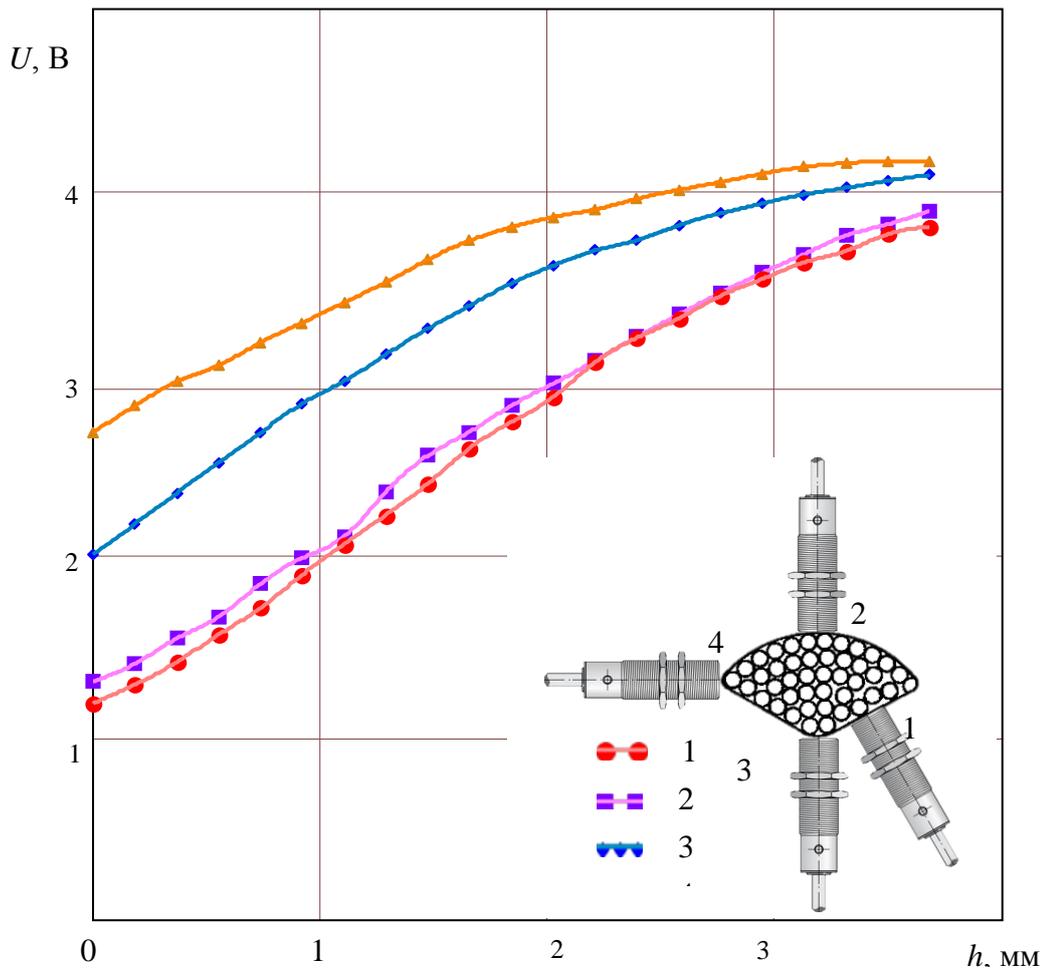


Рисунок 3.2. Зависимости выходного напряжения от изменения зазора между корпусом ВТП и поверхностью жилы кабеля

Исследуем причины влияния формы поверхности. Очевидно, что при криволинейной форме поверхности среднее расстояние до поверхности  $h_0$  больше расстояния до ближайшей точки поверхности  $h$  (на рисунке 3.3). Поэтому сигнал ВТП для этого случая оказывается меньше сигнала для случая плоской поверхности. Чем больше кривизна поверхности, тем сильнее выражен этот эффект.

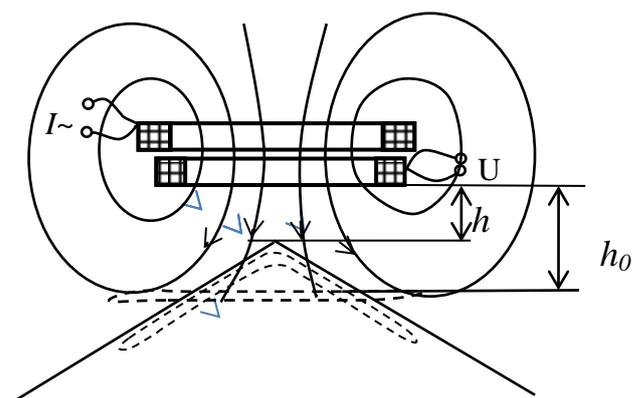


Рисунок 3.3. Возбуждение вихревого тока на объекте, имеющий секторное поперечное сечение

Далее были испытаны преобразователи расстояния ВAW M18MG-UAC80F-S04G [21] и ВAW M12MF2-UAC40F-BP03 [22]. Основные характеристики этих преобразователей приведены в таблице 10.

**Таблица 10.** Основные характеристики преобразователей ВAW

Тип преобразователей	ВAW M18MG-UAC80F-S04G	ВAW M12MF2-UAC40F-BP03
Входное напряжение (В)	15—30 DC	15—30 DC
Выходное напряжение (В)	0—10	0—10
Линейная чувствительная зона (мм)	2—8	1—4
Коэффициент температуры(мкм/К)	-2—4	2—-13
Нелинейность(мкм )	±180	±90
Диаметр(мм)	M18×1	M12×1

По результатам эксперимента были построены зависимости выходного напряжения преобразователя от изменения зазора между корпусом ВТП для четырех точек поверхности жилы кабеля. Зависимости показаны на 3.4 для преобразователя BAW M18MG-UAC80F-S04G и на рисунке 3.5 показаны зависимости для преобразователя BAW M12MF2-UAC40F-BP03.

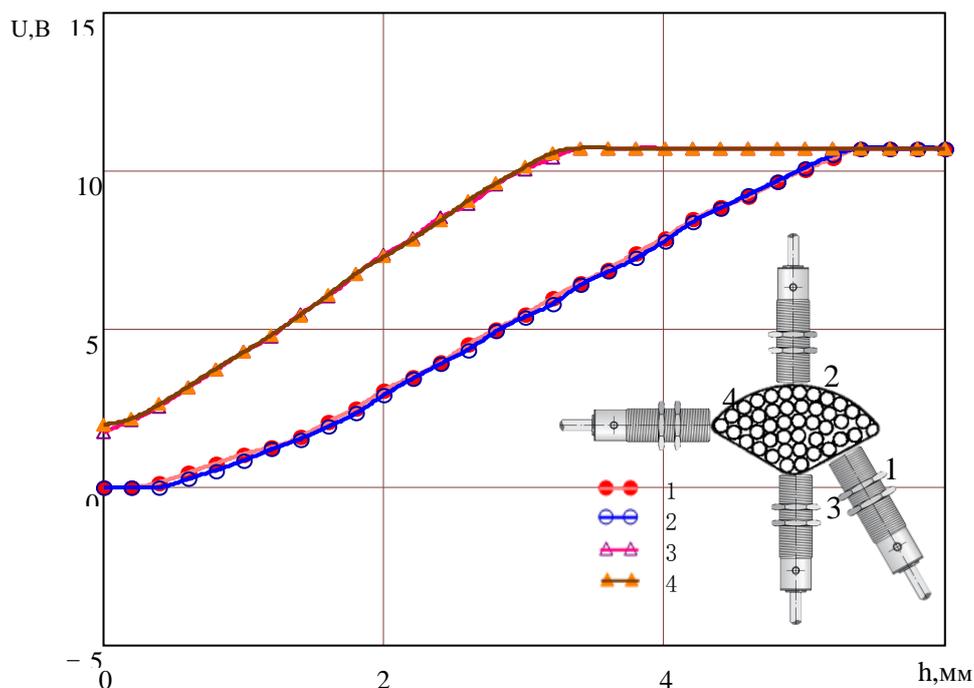


Рисунок 3.4. Зависимости выходного напряжения от изменения зазора между корпусом ВТП BAW M18MG-UAC80F-S04G для четырех точек поверхности жилы кабеля

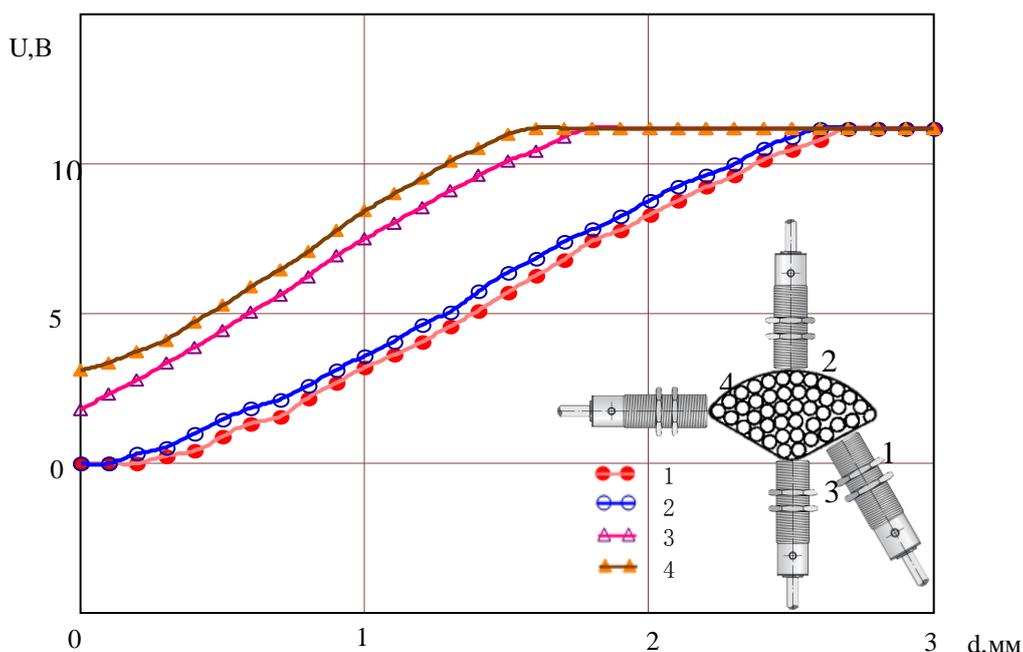


Рисунок 3.5. Зависимости выходного напряжения от изменения зазора между корпусом ВТП ВAW M12MF2-UAC40F-BP03 для четырех точек поверхности жилы кабеля

При увеличении зазора выходное напряжение возрастает. Следует отметить, что в отличие от преобразователя ДПА-М18-76У-1110-Н, эти преобразователи обладают лучшей линейностью в рабочей зоне. Но у них разные диапазоны линейной зона. В нашей задаче нужно контролировать секторный кабель, номинальное значение толщины изоляционной оболочки которого равно 2мм, таким образом, преобразователь ВAW M12MF2-UAC40F-BP03 не применим, особенно для точек 3 и 4, линейная зона для которых (0 – 1,5) мм. Для решения нашей задачи подходит преобразователь ВAW M18MG-UAC80F-S04G.

Исследование влияния смещения преобразователя относительно объекта контроля.

### 3.2. Анализ причины появления погрешности

В процессе контроля могут иметь место параллельное смещение  $d$  (рисунок 3.6.а) и угол наклона  $\theta$  (рисунок 3.6.б). Поэтому следует исследовать влияние угла  $\theta$  и перемещения  $d$  на выходное напряжение.

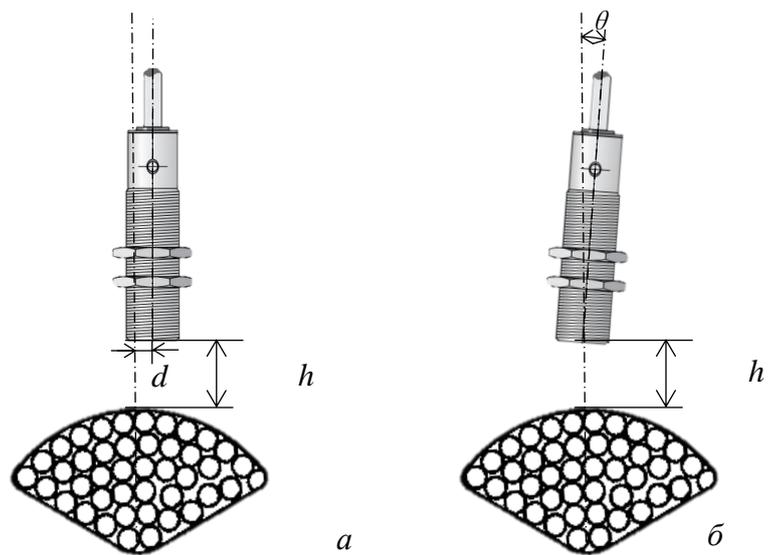


Рисунок 3.6. Отклонение преобразователя от оси симметрии: *a* — перемещение  $d$ , *б* — угол  $\theta$

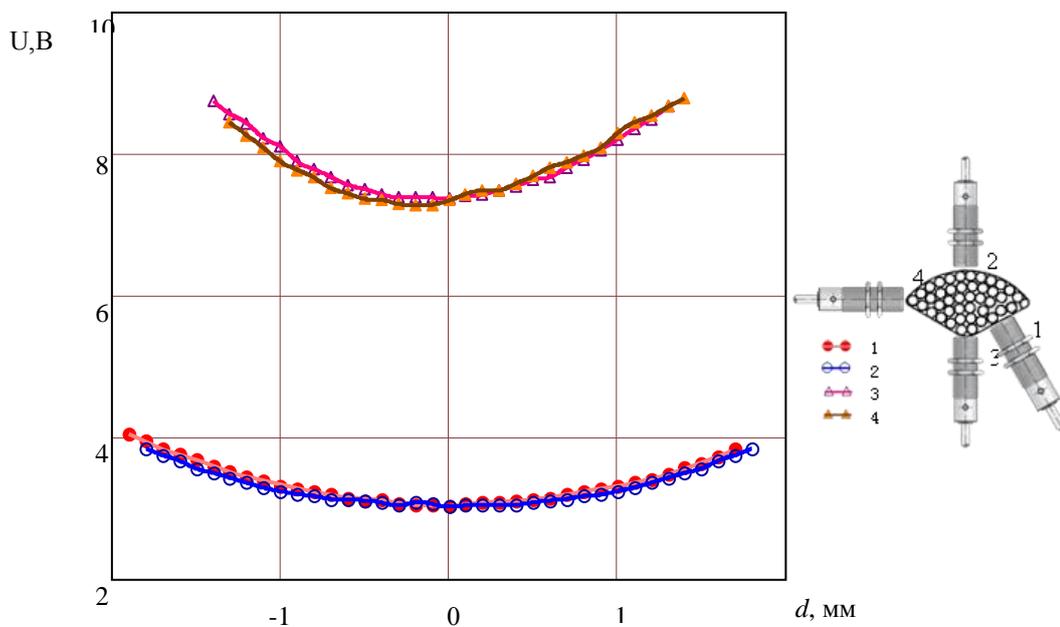


Рисунок 3.7. Зависимости выходного напряжения ВAW M18MG-UAC80F-S04G от изменения значения  $d$

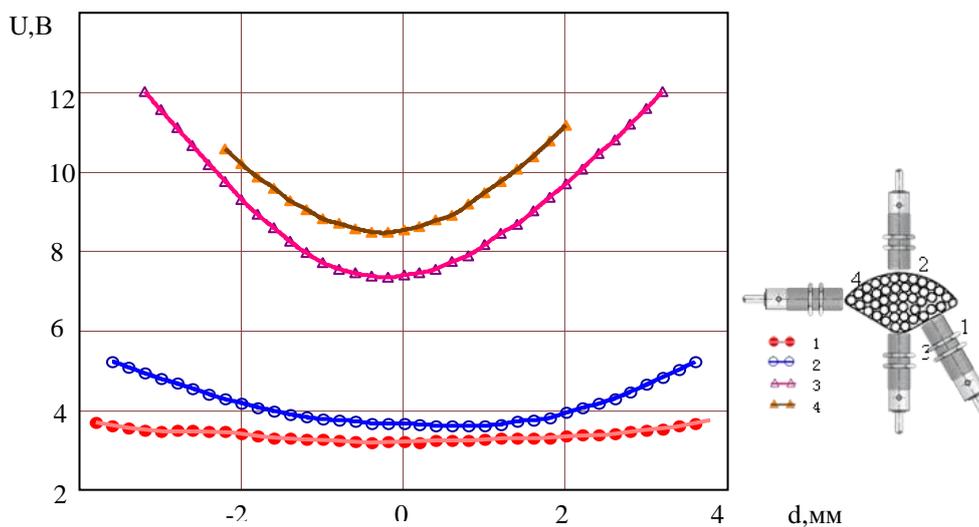


Рисунок 3.8. Зависимости выходного напряжения BAW M12MF2-UAC40F-BP03 от изменения перемещения  $d$

На рисунке 3.7 и 3.8 показаны зависимости выходного напряжения от изменения перемещения  $d$ , зависимости показаны на рисунке 3.7 для преобразователя BAW M18MG-UAC80F-S04G, на рисунке 3.8 для преобразователя BAW M12MF2-UAC40F-BP03. Можно сделать вывод о том, что перемещение возникает погрешность измерения. Для 1 и 2 точек влияние параллельного смещения незначительно в достаточно широком диапазоне. Если перемещение в пределах 1мм, погрешность находится в допустимых пределах.

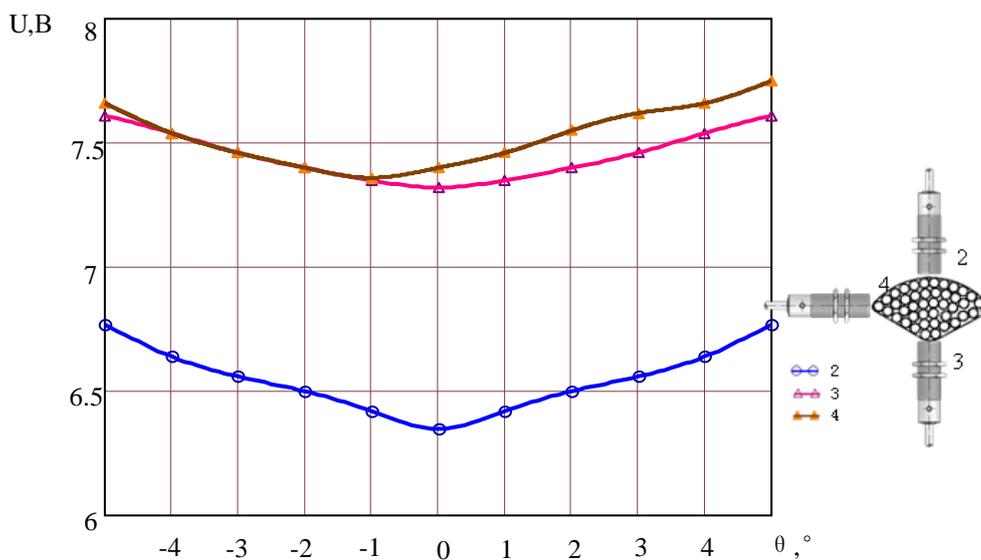


Рисунок 3.9. Зависимости выходного напряжения ВAW M18MG-UAC80F-S04G от изменения угла  $\theta$

На рисунках 3.9 и 3.10 показаны зависимости выходного напряжения от изменения угла  $\theta$ . Можно сказать, что угол перемещения является источником погрешности измерения, и чем угол больше, тем погрешность больше. Чтобы обеспечить точность измерения, допустимое перемещение меньше  $1^\circ$ .

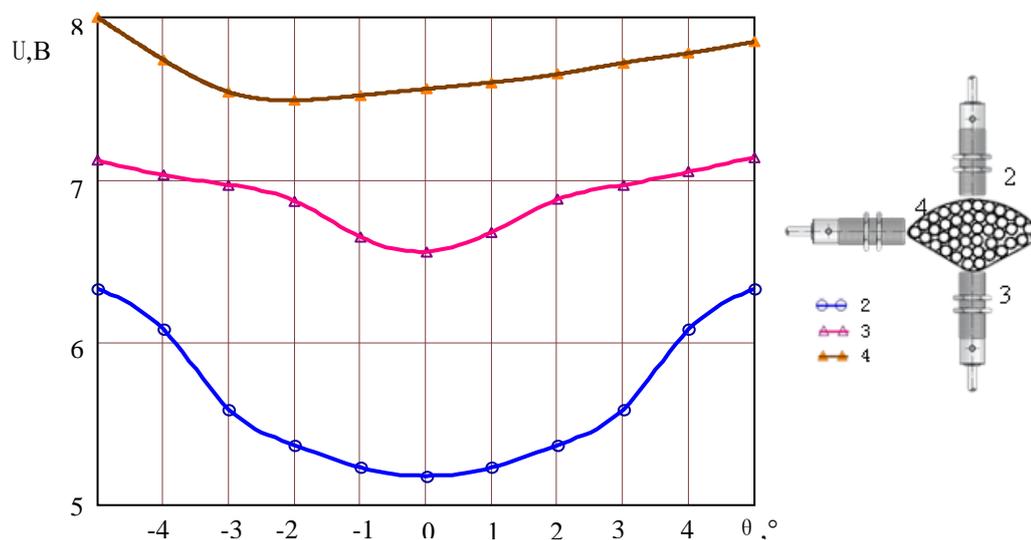


Рисунок 3.10. Зависимости выходного напряжения ВAW M12MF2-UAC40F-BP03 от изменения угла  $\theta$

Симметричность зависимостей относится от положения преобразователя от поверхности жилы кабеля. Для точки 4 невозможно была симметричная зависимость, причина в том, что ее форма не симметричная.

Таким образом, чтобы исключить эти погрешности, необходимо фиксировать положение преобразователя от жилы кабеля.

### 3.3. Исследования взаимодействия преобразователей

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 [2], для жил секторной формы проводят шесть измерений.

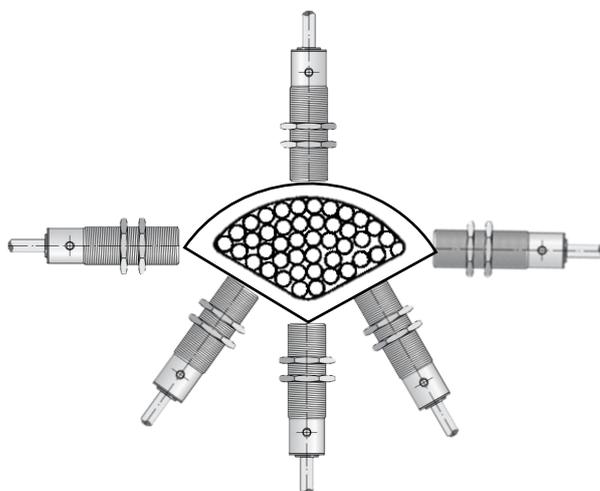


Рисунок 3.11. Система для измерения толщины изоляционной оболочки секторного кабеля

Данная измерительная система содержит 6 датчиков, которые работают одновременно, как показана на рисунках 3.11. Поэтому было исследовано их взаимное влияние. При приближении преобразователя 2 к преобразователю 1 (рисунок 3.12), значение выходного напряжения преобразователя 1 не изменяется. Таким образом, 6 преобразователей могут одновременно работать без влияния взаимодействия.

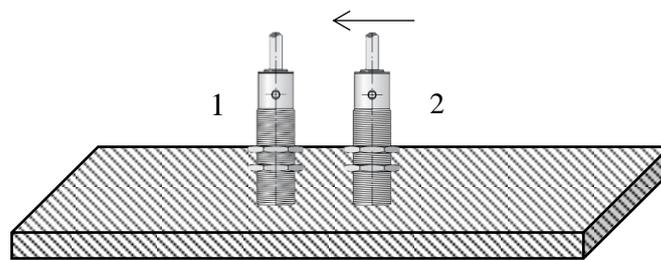


Рисунок 3.12. Исследование взаимодействия двух преобразователей

## 4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ И АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ

### 4.1. Определение функции зависимости расстояния от выходного напряжения

Аппроксимация – определение в явном виде параметров функции, описывающей распределение точек.

В программных системах MathCAD, начиная с 7-ой версии, предусмотрено множество встроенных функций для получения математического описания данных  $Y = f(X)$ . Так, в категории встроенных функций Curve Fitting имеются много функций. Из этих следует, что класс встроенных функций, которые можно применить для подбора наилучшего математического описания  $Y = f(X)$ , весьма широк. Он варьируется от простейших линейных ( $\text{line}(vx, vy)$ ) до произвольных функций ( $\text{genfit}(vx, vy, vg, F)$ ) и линейной комбинации произвольных функций ( $\text{linfit}(vx, vy, F)$ ).

В программе MATHCAD под нелинейной регрессией общего вида подразумевается нахождение вектора  $K$  коэффициентов произвольной функции  $F(x, K_1, K_2, \dots, K_n)$ , при котором обеспечивается минимальная среднеквадратичная погрешность приближения "облака" исходных точек. Для проведения нелинейной регрессии общего вида используется функция  $\text{genfit}(VX, VY, VS, F)$ . Она вычисляет параметры заданной функции  $f$ , определенной в  $F$  и наилучшим образом описывающей данные в  $X, Y$ . Вектор  $vg$  содержит начальные приближения параметров.  $F$  – вектор- функция, первая компонента которой есть функция  $f$ , а остальные - частные производные  $f$  по искомым параметрам. [23]

Соответственно, на основе программы MATHCAD сделана аппроксимация для всех результатов. Очевидно, что расстояние связано с выходным напряжением нелинейной зависимостью. Поэтому используем кусочно-квадратичную аппроксимацию функции. Получены следующие

кусочные функции(  $s_1(U)$  — точка 1;  $s_2(U)$  —точка 2;  $s_3(U)$  —точка 3;  $s_4(U)$  —точка 4):

$$s_1(U) = \begin{cases} 0.294 + 0.645 \cdot U + 0.036 \cdot U^2 \text{ при } 0 < U < 1.59 \\ 0.752 + 0.412 \cdot U - 2.894 \cdot 10^{-4} \cdot U^2 \text{ при } 1.59 \leq U < 8.86 \\ 0.329 + 0.422 \cdot U + 4.314 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 \text{ при } 8.86 \leq U \end{cases}$$

$$s_2(U) = \begin{cases} 0.42 + 0.725 \cdot U - 0.057 \cdot U^2 \text{ при } 0 < U < 1.53 \\ 0.811 + 0.406 \cdot U - 3.11 \cdot 10^{-4} \cdot U^2 \text{ при } 1.53 \leq U < 9.68 \\ 5.991 - 0.686 \cdot U + 0.058 \cdot U^2 \text{ при } 9.68 \leq U \end{cases}$$

$$s_3(U) = \begin{cases} -0.858 + 0.578 \cdot U - 0.035 \cdot U^2 \text{ при } 0 < U < 3.71 \\ -0.314 + 0.295 \cdot U + 3.101 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 \text{ при } 3.71 \leq U < 9.57 \\ 14.715 - 2.827 \cdot U + 0.165 \cdot U^2 \text{ при } 9.57 \leq U \end{cases}$$

$$s_4(U) = \begin{cases} -1.232 + 0.833 \cdot U - 0.081 \cdot U^2 \text{ при } 0 < U < 3.18 \\ -0.486 + 0.348 \cdot U - 7.489 \cdot 10^{-4} \cdot U^2 \text{ при } 3.18 \leq U < 9.62 \\ 3.507 - 0.524 \cdot U + 0.047 \cdot U^2 \text{ при } 9.62 \leq U \end{cases}$$

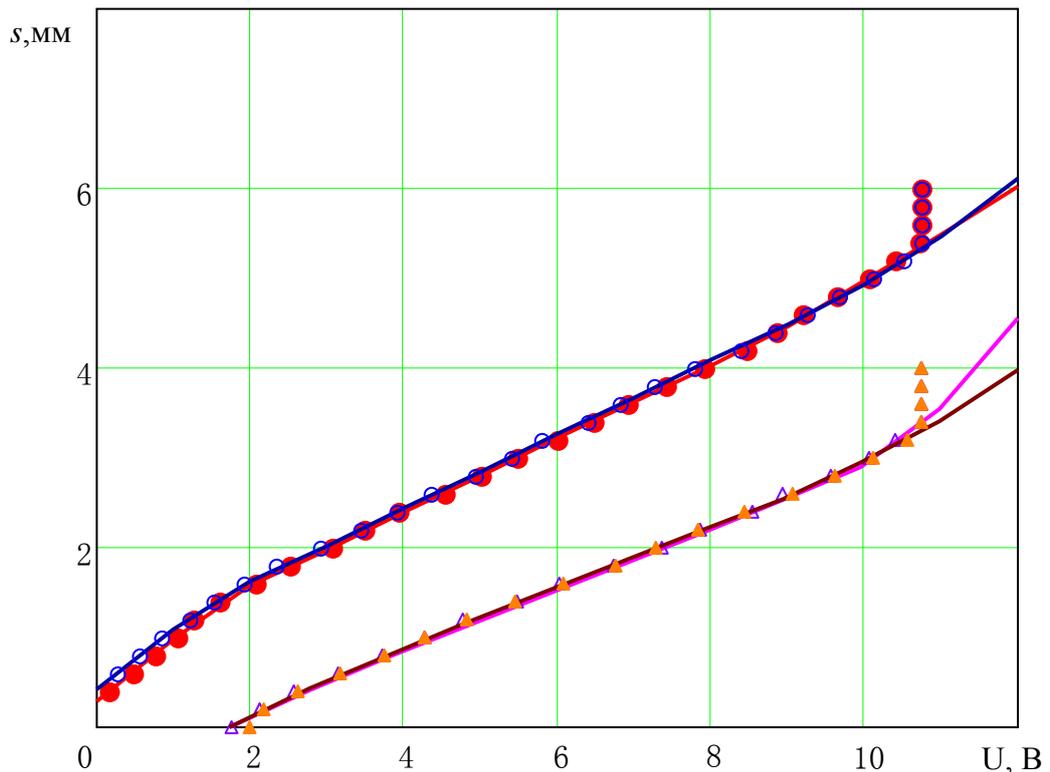


Рисунок 4.1. Результаты измерения и функции аппроксимации для точки 1, 2, 3 и 4

На рисунке 4.1 показаны зависимости функции аппроксимации расстояния от выходного напряжения и все результаты измерения для всех четырех точек. Очевидно, что экспериментальные значения совпадают с функцией аппроксимации. Следует оценить точность аппроксимации.

#### 4.2. Определение погрешности аппроксимации

На рисунке 4.2 показаны относительные погрешности аппроксимации. Очевидно, что для 1-ой и 2-ой точек в пределах от 0.4 мм до 5.4 мм, относительная погрешность до 2.5%. Для 3-ой и 4-ой точек в пределах от 0.2 мм до 3.2 мм, относительная погрешность до 3%. Можно сделать вывод о том, что данная аппроксимация соответствует с требованием.

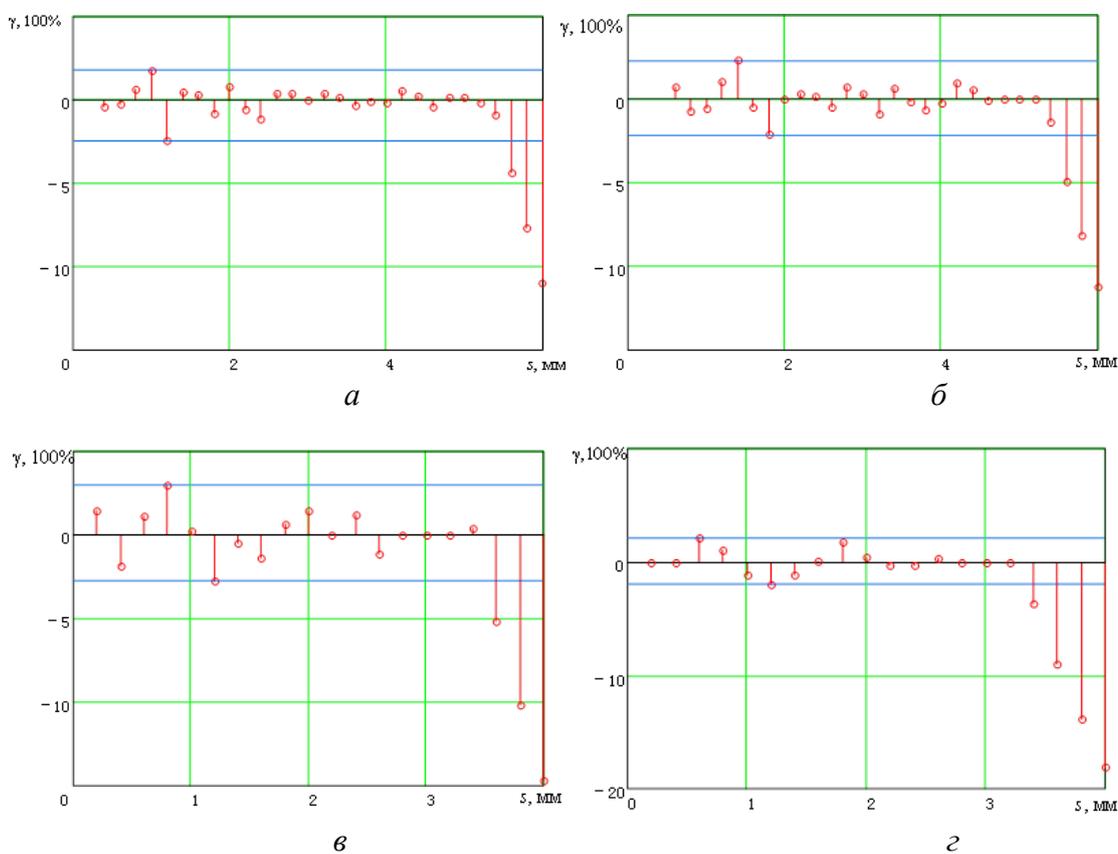


Рисунок 4.2. Относительные погрешности аппроксимации для точки 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (г)

## 5. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И АЛГОРИТМ

### 5.1. Структурная схема

Система, представленная на рисунке 5.1, работает для измерения толщины изоляционной оболочки кабеля.

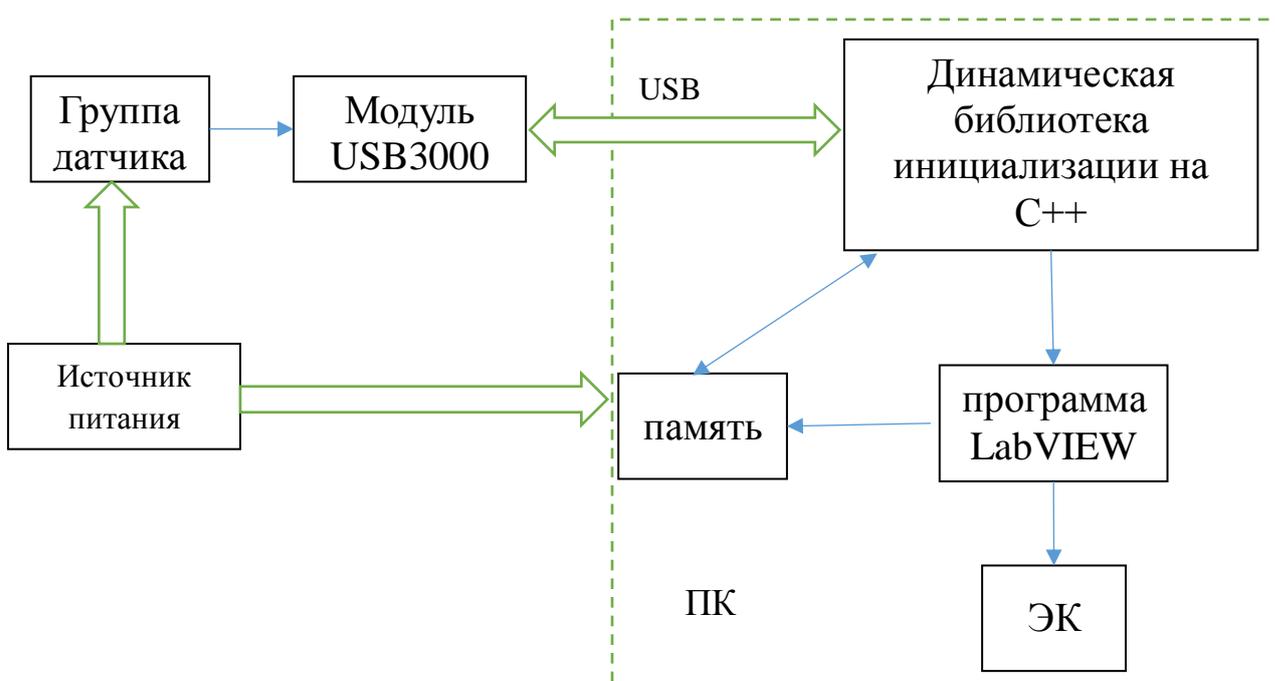


Рисунок 5.1. Структурная схема толщиномера

Датчик, который преобразует расстояние в электрическое напряжение, имеет аналоговый выход. Для преобразования аналогового сигнала и ввода в компьютер используем модуль USB-3000. Он предназначен для реализации компактных мобильных систем сбора и обработки аналоговых и цифровых данных. Модуль является универсальным устройством измерения, может служить как осциллограф, регистратор, спектроанализатор. Высокое быстродействие позволяет исследовать широкополосные сигналы и быстропротекающие процессы. На Рисунке 4.2 представлен основные характеристики модуля USB3000. [24]

#### Особенности:

- Высокая частота дискретизации - до 3 МГц;

- Внутренняя буферизация входов полностью решает проблему межканального прохождения при высоких частотах переключения каналов;
- Встроенный цифровой сигнальный процессор управляет модулем в режиме реального времени, а также позволяет вести первичную цифровую обработку сигнала;
- Скоростной интерфейс USB 2.0 - скорость передачи данных до 100 Мбит/с;
- Поддержка распространенных пакетов прикладного ПО (LabView, ACSTest, PowerGraph);
- "Горячее" подключение к компьютеру - без выключения питания компьютера;
- Не требует внешнего источника питания.

**Применение:**

- мобильные малогабаритные измерительные комплексы на базе notebook;
- многоканальные электронные самописцы;
- регистраторы быстропротекающих процессов;
- переносные многоканальные осциллографы и спектроанализаторы;
- АСУТП;
- автоматизированные стенды диагностики и настройки оборудования, машин и механизмов;
- системы индикации и мониторинга связных каналов;
- мобильные системы радиоконтроля.

Таблица 11. Основные характеристики модуля USB3000

Аналого-цифровой преобразователь	
Количество каналов	8 дифференциальных
Максимальная частота дискретизации	3 МГц
Разрядность АЦП	14 бит

Диапазон входного сигнала	-5В...+5В
Цифро-аналоговый преобразователь	
Количество каналов	2
Максимальная частота дискретизации	100 кГц
Разрядность ЦАП	12
Выходной диапазон	-5В...+5В
Цифровые входы/выходы	
Количество цифровых входов/выходов	18
Частота опроса	До 6 МГц

На рисунке 5.2 представлен внешний вид модуля USB3000.



Рисунок 5.2. Внешний вид модуля USB3000

Измерительные приборы NI включают программные драйверы NI-DAQmx – набор VI, которые можно использовать для конфигурирования, сбора данных и передачи данных измерительным устройствам. ПО DAQ представляет собой единый программируемый интерфейс для программирования аналогового и цифрового ввода-вывода, а также таймерного ввода-вывода, выполняемых в сотнях многофункциональных устройств сбора данных.

NI-DAQmx – ПО, которое управляет DAQ-устройством.

LabVIEW – ПО, используемое для создания приложения, которое отправляет команды драйверу, собирает, обрабатывает и представляет данные. Обработанные результаты сохранены в память компьютера и показаны на экране.

В качестве источника питания использован GW Instek GPS-1850D (выходное напряжение до 18В), регулируем для того, что выходной сигнал 15В. Измерительная установка представлена на рисунке 5.3.

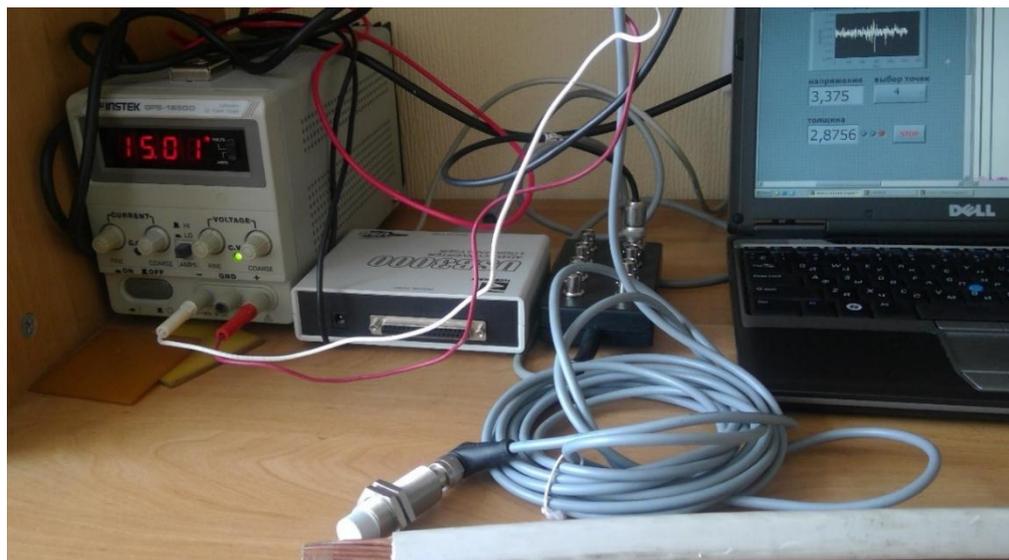


Рисунок 5.3. Измерительная установка

## 5.2. Алгоритм вычислительного преобразования

На рисунке 5.4 показан алгоритм программы, сначала установить частоту дискретизации и другие основные параметры, следует записать данные измерения датчиков в буфере, после обработки сигналов, Определим измеряемое значения в допустимых диапазонах. Если да, то светится зелёный сигнал, а то, жёлтый или красный сигналы, чтобы можно прямо видеть толщина, измеряемая в пределах или нет. Если нажимаем кнопку стоп, то работа окончена и все данные сохранены в память.



Рисунок 5.4. Алгоритм программы

## 6. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench - среда разработки лабораторных виртуальных приборов) является средой программирования, с помощью которой можно создавать приложения, используя графическое представление всех элементов алгоритма, что отличает ее от обычных языков программирования, таких как C, C++ или Java, где программируют, используя текст. Однако LabVIEW представляет собой значительно большее, чем просто алгоритмический язык. Это среда разработки и исполнения приложений, предназначенная для исследователей - ученых и инженеров, для которых программирование является лишь частью работы. LabVIEW функционирует на компьютерах, работающих под управлением всех распространенных операционных систем: Windows, MacOS, Linux, Solaris и HP-UX.

Мощный графический язык программирования LabVIEW позволяет в сотни раз увеличить производительность труда. Создание законченного приложения с помощью обычных языков программирования может отнять очень много времени - недели или месяцы, тогда как с LabVIEW требуется лишь несколько часов, поскольку пакет специально разработан для программирования различных измерений, анализа данных и оформления результатов. Так как LabVIEW имеет гибкий графический интерфейс и прост для программирования, он также отлично подходит для моделирования процессов, презентации идей, создания приложений общего характера и просто для обучения современному программированию.

Измерительная система, созданная в LabVIEW, имеет большую гибкость по сравнению со стандартным лабораторным прибором, потому что она использует многообразие возможностей современного программного обеспечения. И именно вы, а не изготовитель оборудования, определяете

функциональность создаваемого прибора. Ваш компьютер, снабженный встраиваемой измерительно-управляющей аппаратной частью, и LabVIEW составляют полностью настраиваемый виртуальный прибор для выполнения поставленных задач. С помощью LabVIEW допустимо создать необходимый тип виртуального прибора при очень малых затратах по сравнению с обычными инструментами. При необходимости вы можете внести в него изменения буквально за минуты.

LabVIEW создан для облегчения работы по программированию ваших задач. Для этой цели имеется расширенная библиотека функций и готовых к использованию подпрограмм, которые реализуют большое число типичных задач программирования и тем самым избавляют нас от рутинной возни с указателями, распределением памяти и прочего шаманства, присущего традиционным языкам программирования. В LabVIEW также содержатся специальные библиотеки виртуальных приборов для ввода/вывода данных со встраиваемых аппаратных средств (data acquisition - DAQ), для работы с каналом общего пользования (КОП, General Purposes Interface Bus - GPIB), управления устройствами через последовательный порт RS-232, программные компоненты для анализа, представления и сохранения данных, взаимодействия через сети Internet. Библиотека анализа (Analysis) содержит множество полезных функций, включая генерирование сигнала, его обработку, различные фильтры, окна, статистическую обработку, регрессионный анализ, линейную алгебру и арифметику массивов. [25]

Благодаря своей графической природе LabVIEW - это пакет эффективного отображения и представления данных. Выходные данные могут быть показаны в любой форме, какую вы пожелаете. Диаграммы, графики стандартного вида, а также оригинальная пользовательская графика (user-defined graphics) составляют лишь малую часть возможных способов отображения выходных данных.

Тело программы показано ниже.

Эта первая часть (на рисунке 6.1) предназначена для проверки модуля плата USB3000, установления и считывания частоты дискретизации, количество каналов и другие параметры.

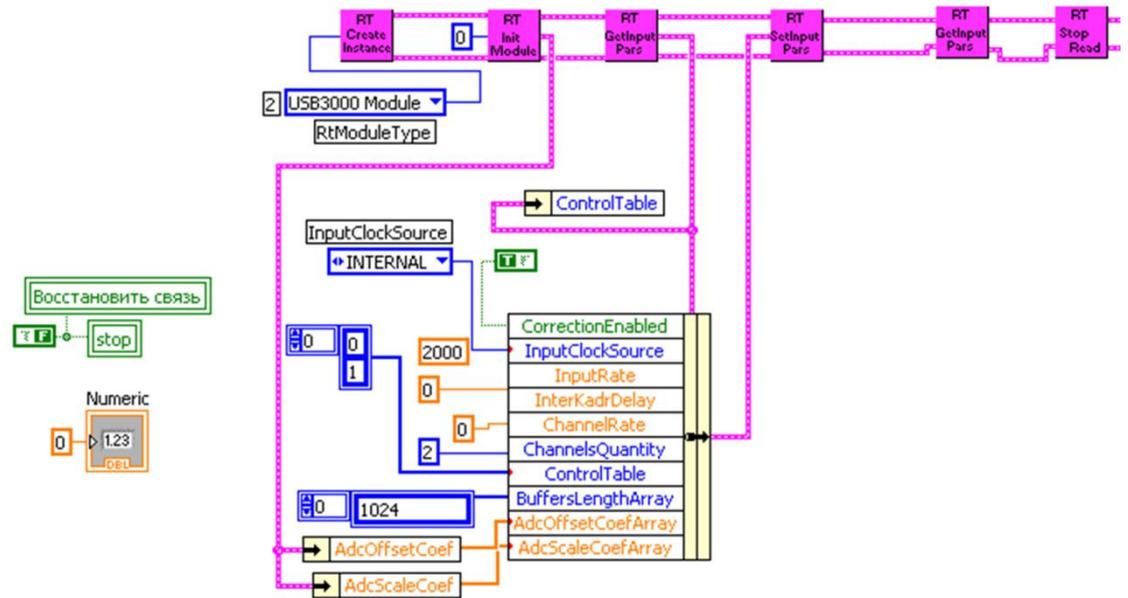


Рисунок 6.1. Первая часть тела программы

Вторая часть (на рисунке 6.2) предназначена для считывания данных из буфера и считывания части буфера в массиве.

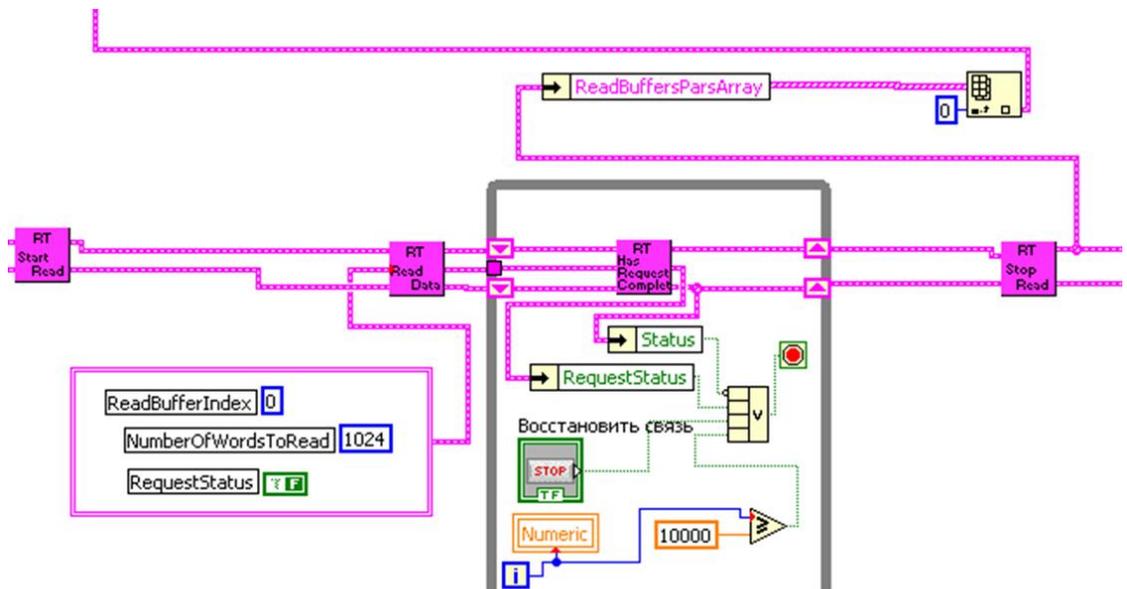


Рисунок 6.2. Вторая часть тела программы

Третья часть (на рисунке 6.3) выполняет функцию: преобразование значений напряжения в значения толщины, проверка значений толщины на принадлежность допустимому диапазону.

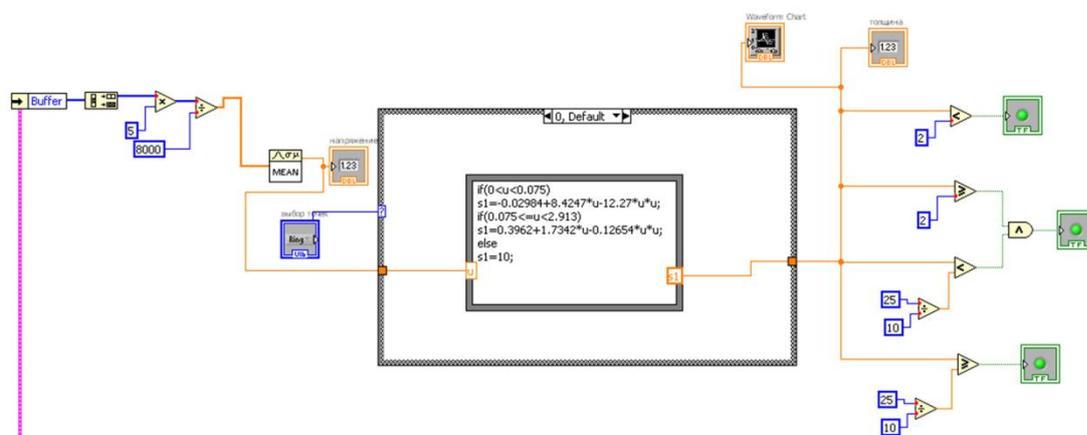


Рисунок 6.3. Третья часть тела программы

Если значение толщины в нормальных пределах горит зелёный сигнал; если меньше нижнего предела, то горит жёлтый сигнал; если больше верхнего предела, то горит красный сигнал.

Предельное значение входного напряжения модуля составляет 5В, а выходное напряжение датчика 10,7 В. Для согласования использован делитель напряжения.

Следует переопределить функции толщины от измеряемого напряжения компьютером.

Отметили что, предел обработки данных модуля USB3000 до 5В, и максимальное выходное напряжение более 10В. Далее используем делитель напряжения после датчика для того, чтобы выходное напряжение до 5В. Таким образом, надо переопределить функции толщины оболочки от напряжения (рисунок 6.4).

Соответственно, на основе программы MATHCAD сделана аппроксимация для всех результатов. Получены следующие кусочные функции( $s_1(U)$  — точка 1;  $s_2(U)$  — точка 2;  $s_3(U)$  — точка 3;  $s_4(U)$  — точка 4):

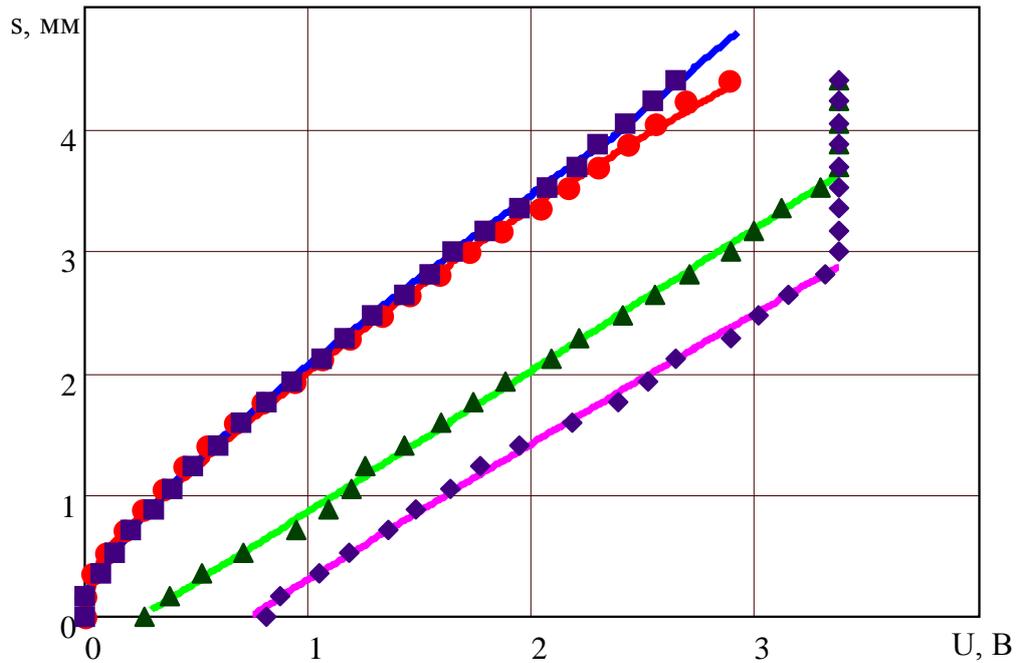


Рисунок 6.4. Результаты измерения и функции аппроксимации для точки 1, 2, 3 и 4

$$s1(U) = \begin{cases} -0.02984 + 8.4247 \cdot U - 12.27 \cdot U^2 \text{ нпи} & 0 < U < 0.075 \\ 0.3962 + 1.7342 \cdot U - 0.12654 \cdot U^2 \text{ нпи} & 0.075 \leq U < 2.913 \\ \text{error нпи} & 2.913 \leq U \end{cases}$$

$$s2(U) = \begin{cases} 0.1949 + 2.616 \cdot U - 0.8848 \cdot U^2 \text{ нпи} & 0 < U < 0.6608 \\ 0.4938 + 1.6503 \cdot U - 8.1543 \cdot 10^{-2} \cdot U^2 \text{ нпи} & 0.6608 \leq U < 2.437 \\ 0.3066 + 1.54395 \cdot U - 2.37615 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 \text{ нпи} & 2.437 \leq U < 2.930 \\ \text{error нпи} & 2.930 \leq U \end{cases}$$

$$s3(U) = \begin{cases} -0.2911 + 1.1497 \cdot U + 0.0036 \cdot U^2 \text{ нпи} & 0 < U < 3.376 \\ \text{error нпи} & 3.376 \leq U \end{cases}$$

$$s4(U) = \begin{cases} -0.8659 + 1.1944 \cdot U - 0.0254 \cdot U^2 \text{ нпи} & 0 < U < 3.376 \\ \text{error нпи} & 3.376 \leq U \end{cases}$$

Передняя панель представлена на рисунке 6.5. Для выбора точки контроля следует нажать кнопку выбор точек, что инициализирует соответствующую формулу.



Рисунок 6.5. Передняя панель

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРА

Используя диэлектрические образцы, толщина которых равна 1мм и 2.1мм, определим фактическую погрешность измерения. Для этого используется жила без изоляции. Для каждой точки проводим 10 измерений. Относительная погрешность измерения показана на рисунках 7.1, 7.2, 7.3, 7.4.

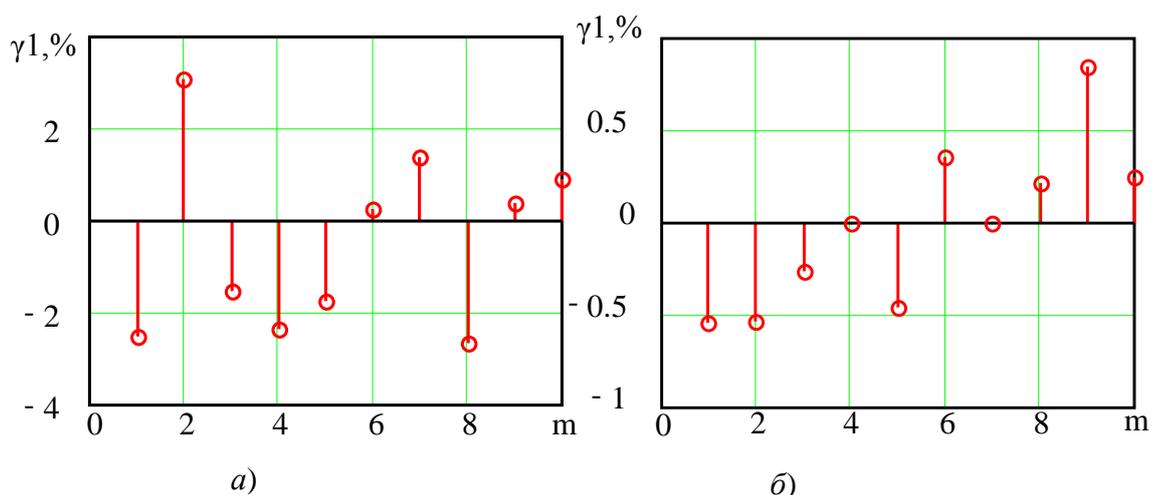


Рисунок 7.1. Относительная погрешность измерения для 1-ой точки  
(а – образец 1мм, б – образец 2.1мм)

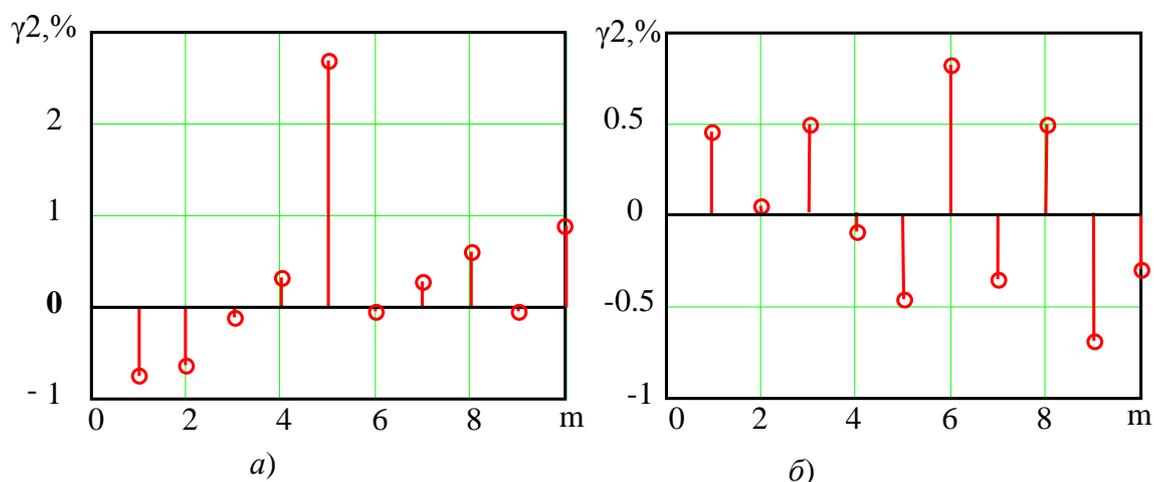


Рисунок 7.2. Относительная погрешность измерения для 2-ой точки  
(а – образец 1мм, б – образец 2.1мм)

Для 1-ой точки погрешность  $\gamma_1$  от образца 1мм до 3% (рисунок 7.1.а), от образца 2.1мм до 1% (рисунок 7.1.б); для 2-ой точки погрешность  $\gamma_2$  от образца 1мм до 3% (рисунок 7.2.а), от образца 2.1мм до 2% (рисунок 7.2.б); для 3-ой точки погрешность  $\gamma_3$  от образца 1мм до 3% (рисунок 7.3.а), от образца 2.1мм

до 3% (рисунок 7.3.б); для 4-ой точки погрешность  $\gamma_4$  от образца 1мм до 3% (рисунок 7.4.а), от образца 2.1мм до 3% (рисунок 7.4.б). Из этих рисунков, можно сказать, что относительная погрешность измерения для каждой точки в пределах 3%,

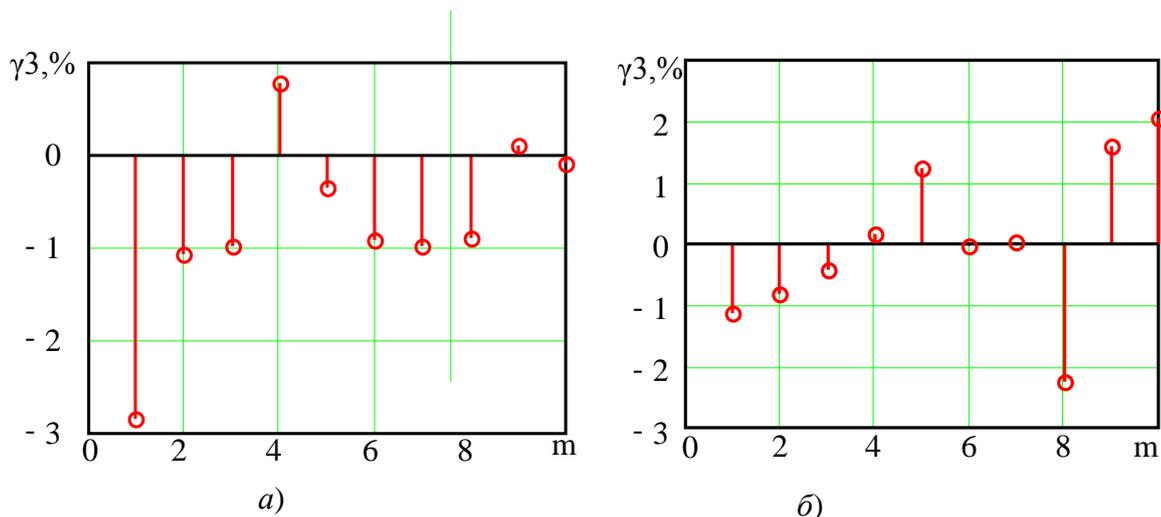


Рисунок 7.3. Относительная погрешность измерения для 3-ой точки  
(а – образец 1мм, б – образец 2.1мм)

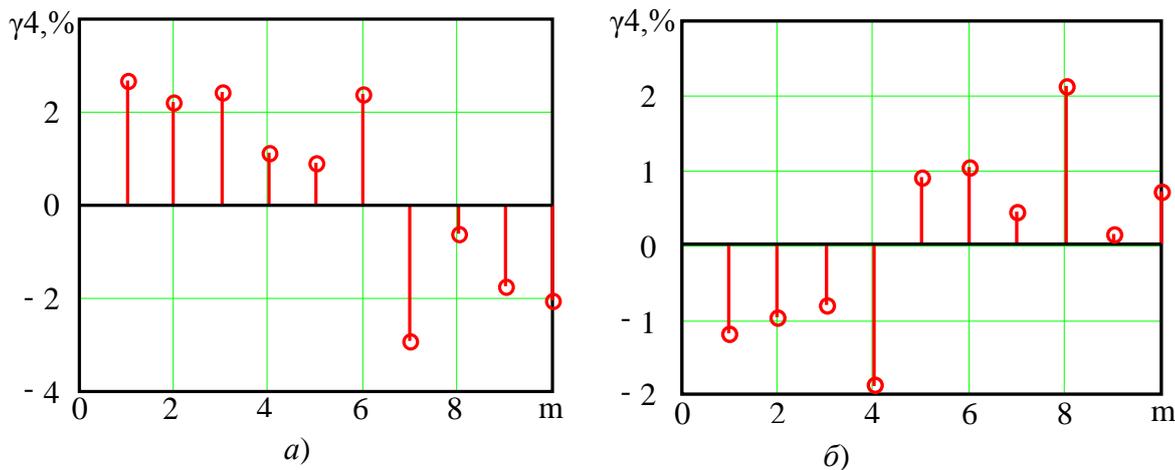


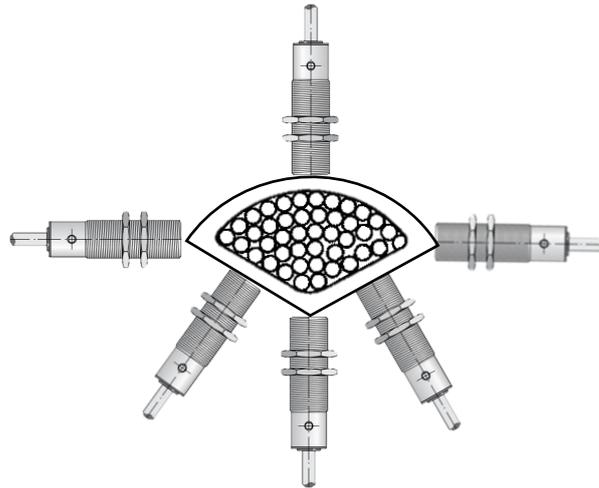
Рисунок 7.4. Относительная погрешность измерения для 4-ой точки  
(а – образец 1мм, б – образец 2.1мм)

Максимальная относительная погрешность среди 80 измерений не превышает 3%, что соответствует требованиям технического задания (погрешность до 5%). Таким образом, этот прибор надежный и точный, можно использовать для измерения толщины изоляционной оболочки секторной жилы кабеля.

## 8. КОНСТРУКЦИЯ

Для реализации автоматического измерения, нужна механическая система для поддержки и фиксирования.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98, для жил секторной формы проводят шесть измерений, как показано на рисунке 8.1.



**Рисунок 8.1.** Система для измерения толщины изоляционной оболочки секторного кабеля

Уже доказано, что 6 преобразователей могут одновременно работать без взаимодействия и оценено влияние на результат угла  $\theta$  и перемещения  $d$ . Для того, чтобы повышать точность измерения, нужна механика для поддержки и фиксирования. Конструкция для одного преобразователя показана на рисунке 8.2.

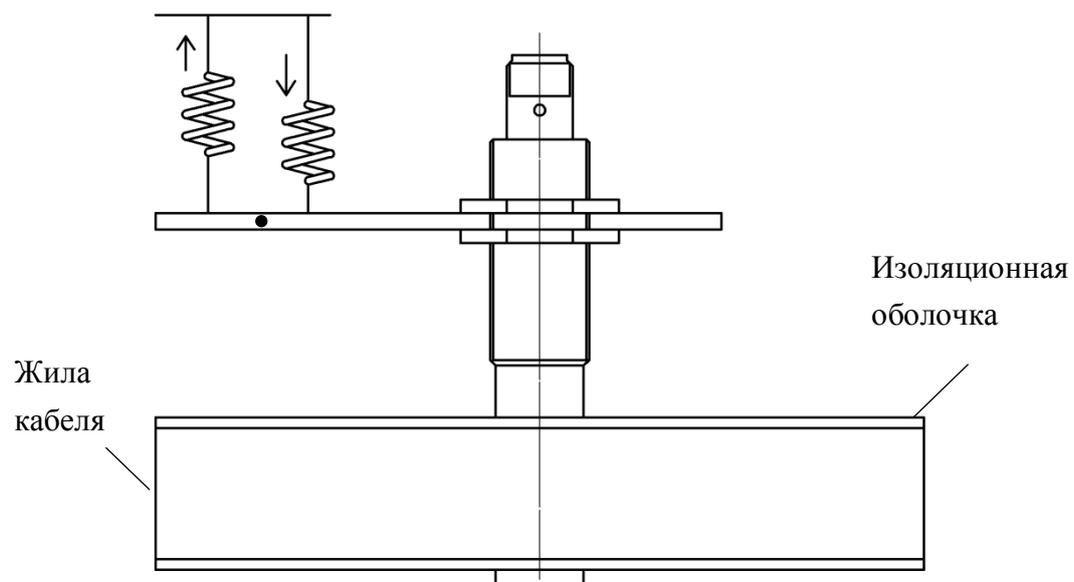


Рисунок 8.2. Конструкция для одного преобразователя

## **9. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности 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 т.д.

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

### **1. Предпроектный анализ**

#### **1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями моего исследования могут являться как коммерческие организации, которые производят электрические кабели, и физические лица, которое служит для контроля качества кабеля. Целевым

рынком выполненной работы является компании, занимающиеся производством и продажей кабелей.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации, имеющие отношение к производству многожильных кабелей. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция. В томской область, например, завод ТОМСККАБЕЛЬ.

Синтез толщиномера изоляционной оболочки кабеля по критерию максимального точности и максимальной скоростью измерения. Методика синтеза позволяет обеспечить в процессе производства реализовать автоматическое непрерывное измерение.

1.2. 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. Радиационный толщиномер изоляционной оболочки кабеля X-RAY 8000 NXT

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, X-RAY 8000 NXT достигается точное измерение в процессе производства.

Таблица 12. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Конкурентоспособность
-----------------	--------------	-------	-----------------------

		Б <sub>Ф</sub>	Б <sub>К1</sub>	Б <sub>К2</sub>	К <sub>Ф</sub>	К <sub>К1</sub>	К <sub>К2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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.

### 1.3 FAST-анализ

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа — в качестве объекта выступает измеритель толщины оболочки секторной жилы электрического кабеля.

2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом приведено в таблице 13.

Таблица 13.

Наименование узла	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Блок питания	1	Предоставление постоянного напряжения			X
Группа датчиков	6	Преобразование толщины в аналоговый сигнал	X		
АЦП/ЦАП	1	Дискретизация сигнала		X	
компьютер	1	Обработка данных измерения	X		
механика	1	Фиксирование датчиков			X

### 3. Определение значимости выполняемых функций объектом

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции (таблица 14).

Таблица 14.

	Предоставление постоянно го напряжения	Преобразование толщины в аналоговой сигнал	Дискретизация сигнала	Обработка данных измерения	Фиксирование датчиков
Предоставление постоянно го напряжения	=	<	<	<	<
Преобразование толщины в аналоговой сигнал	>	=	>	<	>
Дискретизация	>	<	=	<	<

ации сигнала					
Обработка данных измерения	>	>	=	>	>
Фиксирова ние датчиков	>	<	>	<	=

В рамках третьего этапа происходит определение значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям таблица 16.

Функция	Балл	Значимость функции
Предоставление постоянного напряжения	3	0,12
Преобразование толщины в аналоговой сигнал	6	0,24
Дискретизации сигнала	4	0,16
Обработка данных измерения	7	0,28
Фиксирование датчиков	5	0,20

Таблица 16.

#### 4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования.

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью специальных методов оценить уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделать это

возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в таблице 17.

Таблица 17.

Наименование узла	Количество деталей узла	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоёмкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Блок питания	1	Предоставление постоянного напряжения	1.3	—	—	—	6 586,83
Группа датчиков	6	Преобразование толщины в аналоговый сигнал	0.05	—	—	—	11 650,0 3*6
АЦП/ЦАП	1	Дискретизация сигнала	0.45	—	—	—	22715
компьютер	1	Обработка данных измерения	2	—	—	—	30000
механика	1	Фиксирование датчиков	—	—	—	—	1000

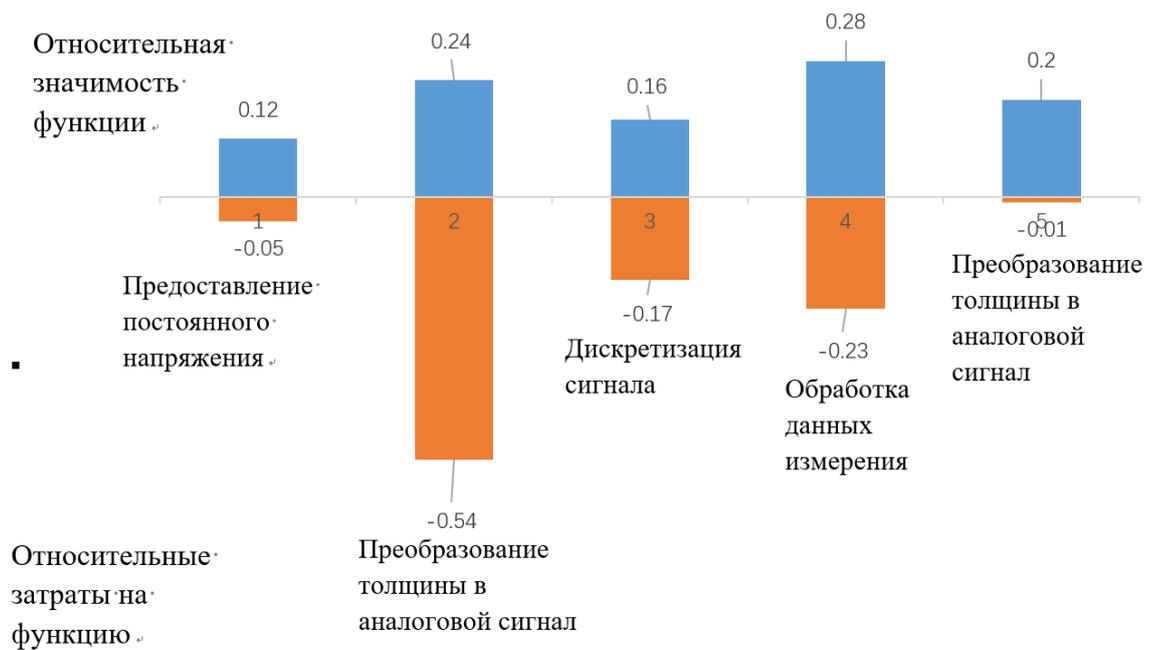


Рисунок 9.1. Анализ стоимости функций

#### 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить некоторые диспропорции между полезностью функций и затратами на них.

Вышеприведённый анализ показывает небольшое наличие рассогласования по второй функции (Преобразование толщины в аналоговый сигнал). Можно провести работы по ликвидации данных диспропорций.

В результате проведения FAST-анализа данной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем изменения схемотехники данного блока и как следствие элементной базы.

#### 1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Необходимые данные внесены в специальную форму (таблица 18), содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 18 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2

10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>52</b>	<b>40</b>

При проведении анализа, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. Система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме

теоретических знаний, 3 – знаком с теорией и практическим примером применения, 4 – знаком с теорией и способен самостоятельно выполнить, 5 – знаком с теорией, способен самостоятельно выполнить и консультировать.

Исходя из полученной оценки, можно сделать вывод, что перспективность выполняемого проекта выше среднего.

## 2. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Цели и результат проекта: разработка измерителя толщины оболочки секторной жилы электрического кабеля в процессе производства. Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 19.

Таблица 19 - заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Качественное выполнение работ в оговоренные сроки
Исполнитель проекта	Разработка измерителя толщины оболочки секторной жилы

В таблице 20 представлена информация об иерархии целей проекта и требованиях к результату. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 20 - цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка измерителя толщины оболочки секторной жилы электрического кабеля в процессе производства. Разработка ресурсоэффективного и экономически выгодного способа измерения толщины оболочки.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка прибора
Требования к результату проекта:	Выполнение в срок

Участники рабочей группы представлены в таблице 21.

Таблица 21 - рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Гольдштейн Александр Ефремович, каф. ФМПК профессор	Руководитель проекта	Координирует деятельность исполнителя проекта	300
2	Ван Юй,	Исполнитель	Выполнение	2200

	каф. ФМПК, магистрант	проекта	проектных работ	
ИТОГО:				2500

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Ограничения представлены в таблице 22.

Таблица 22. Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	23000
3.1.1. Источник финансирования	Ван Юй
3.2. Сроки проекта:	01.09.2014-01.06.2016
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.10.2014
3.2.2. Дата завершения проекта	09.06.2016

### 3. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

#### 3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 2 представлена структура по разработки измерительного устройства.

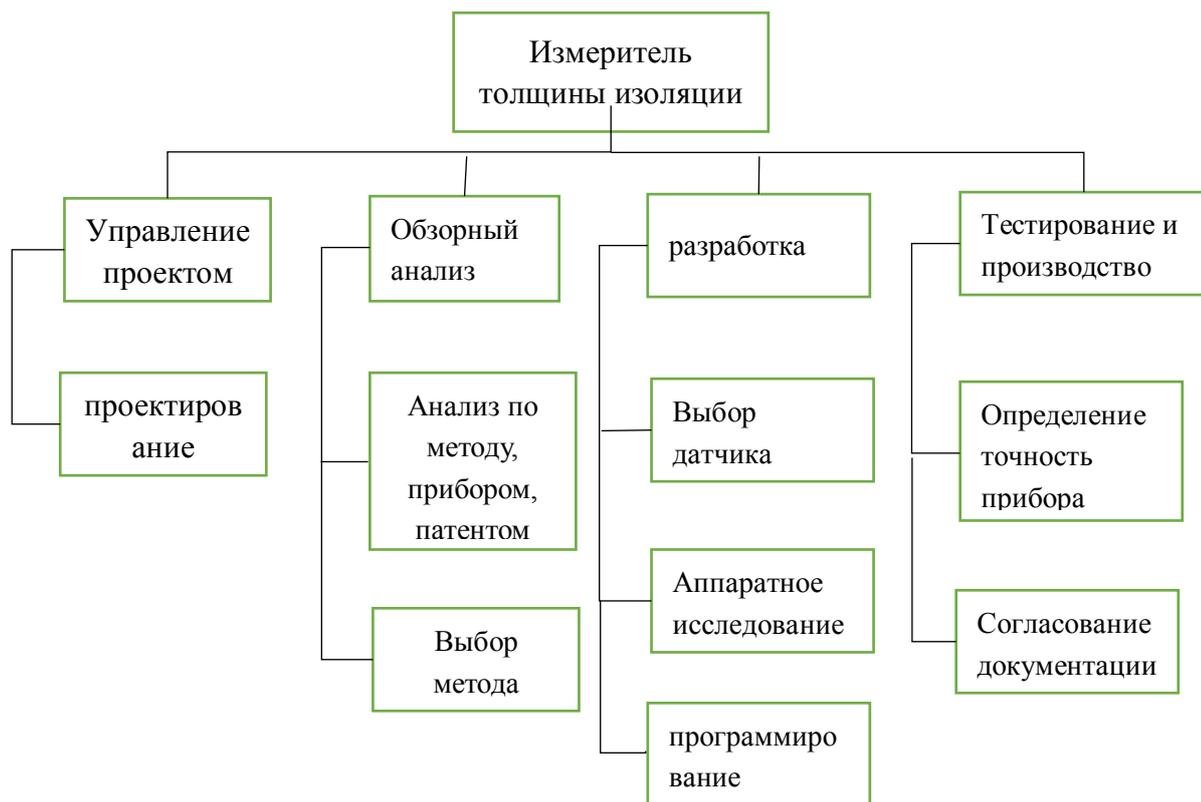


Рисунок 9.2. Иерархическая структура работ

### 3.2. Контрольные события проекта

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу 23.

Таблица 23. Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Результат (подтверждающий документ)
1	Постановка ТЗ	Техническое задание
2	Подготовительные работы	Отчеты НИР, патентный поиск
3	Теоретические и	Проведены

	экспериментальные исследования	теоретические расчёты, которые были подтверждены экспериментальным путём
4	Заключительный этап	Пояснительная записка

### 3.3. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы 24.

Таблица 24. Календарный план проекта

<b>Название</b>	<b>Длительность, рабочие дни</b>	<b>Длительность, календарные дни</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончания работ</b>	<b>Состав участников</b>
Получение технического задания	2	2	14.09.14	30.09.14	Исполнитель, руководитель
Анализ задачи	20	45	30.09.14	15.11.14	Исполнитель, руководитель
Сбор информации, анализ технических возможностей.	10	12	20.11.14	01.12.14	Исполнитель

Изучение методов и средств	60	80	10.11.14	01.02.15	Исполнитель
Патентный поиск	40	50	10.02.15	30.03.15	Исполнитель
Проведение экспериментов	60	80	20.03.15	10.06.15	Исполнитель
Анализ полученных результатов	30	40	06.09.15	15.10.15	Исполнитель руководитель
Переопределение зависимости	20	30	01.11.15	01.12.15	Исполнитель
Разработка аппаратной части	20	30	15.02.16	16.03.16	Исполнитель руководитель
Программирование	20	26	01.03.16	28.03.16	Исполнитель
Проверка прибора	15	20	04.04.16	20.04.16	Исполнитель
Написание отчета о проделанной работе	30	40	15.03.16	25.04.16	Исполнитель

Итого:	327	375				
--------	-----	-----	--	--	--	--

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

Таблица 14

Код работ	Вид работ	Т <sub>к</sub> , ка л, дн .	Продолжительность выполнения работ																								
			2014					2015										2016									
			9	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	2	3	4	5				
1	Получение технического задания	2	■	□																							
2	Анализ задачи	45		■	■																						
3	Сбор информации, анализ технических возможностей.	12				■																					
4	Изучение методов и средств	80				■	■	■																			
5	Патентный	50							■																		

	поиск																			
6	Проведение экспериментов	80																		
7	Анализ полученных результатов	40																		
8	Переопределение зависимости	30																		
9	Разработка аппаратной части	30																		
10	Программирование	26																		
11	Проверка прибора	20																		
12	Написание отчета о проделанной работе	40																		



студент



руководитель

### 3.4 Бюджет научного исследованиями

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

#### 1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

В эту статью включены затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат проводится по действующим ценам. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включены затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье занесены в таблицу 26.

Таблица 26 - сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Аналоговый датчик расстояния	ДПА-М18-76 У-1110-Н	1	1419	1419
Аналоговый датчик расстояния	BAW M18MG-UAC 80F-S04G	1	11 650	11 650
Аналоговый датчик расстояния	BAW M12MF2-UAC 40F-ВР03	2	10004	20008

Прочие расходы			1000	1000
Всего за материалы				34077
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1500
Итого по статье $C_m$				35577

## 2. Специальное оборудование для научно-исследовательских работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении специального оборудования учтены затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования, сводятся в таблицу 27.

Таблица 27. Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер	1	30000	30000
2	Модуль АЦП/ЦАП	1	22715	22715
3	Блок питания	1	6 586,83	6 586,83
Итоговая сумма				59298.83

## 3. Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по теме. Величина расходов по заработной плате определена исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 28.

Таблица 28. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Получение технического задания	Руководитель	2	1462.5	2925
		Студент	2		538.4
2	Анализ задачи	Руководитель	20	1462.5	29250
		Студент	20	269.2	5384
3	Сбор информации, анализ технических возможностей.	Студент	10	269.2	2692
4	Изучение методов и средств	Студент	60	269.2	16252
5	Патентный поиск	Студент	40	269.2	10768
6	Проведение	Студент	60	269.2	16252

	экспериментов				
7	Анализ полученных результатов	Руководитель	30	1462.5	43875
		Студент	30	269.2	8076
8	Переопределен ие зависимости	Студент	20	269.2	5384
9	Разработка аппаратной части	Руководитель	20	1462.5	29250
		Студент	20	269.2	5384
10	Программирова ние	Студент	20	269.2	5384
11	Проверка прибора	Студент	15	269.2	4038
12	Написание отчета о проделанной работе	Студент	30	269.2	8076
Итого:193328.4					

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

Основная заработная плата руководителя и инженера (дипломника) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

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

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 24);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб.дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя);

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 29).

Таблица 29. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	71	71
- выходные дни	51	51
- праздничные дни	20	20
Потери рабочего времени на отпуск	48	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	294

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн.р}} = \frac{34595 \cdot 10,4}{246} = 1462,5 \text{руб.}$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$Z_{\text{дн.с}} = \frac{6595,7 \cdot 12}{294} = 269,2 \text{руб.}$$

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит для руководителя:

$$Z_{\text{осн.р}} = 1462,5 \cdot 72 = 105300 \text{руб.}$$

для исполнителя:

$$Z_{\text{осн.и}} = 269.2 \cdot 327 = 88028.4 \text{руб.}$$

Таблица 30. Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	34595	1462.5	72	105300
Исполнитель	6595.7	269.2	327	88028.4

4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

для руководителя:

$$Z_{\text{д.р}} = 105300 \cdot 0.12 = 12636 \text{руб.}$$

для исполнителя:

$$Z_{\text{д.и}} = 88028.4 \cdot 0.12 = 10568.4 \text{руб.}$$

В таблице 31 представлена заработная плата рабочей группы проекта.

Таблица 31. Заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	105300	88028.4
Дополнительная зарплата	12636	10568.4
Итого	117936	98591.8
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	216527.8	

5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$C_{\text{внеб}} = 0.3 \cdot 117936 = 35380.8 \text{руб.}$$

6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

На эту статью относится стоимость работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу данной научно-технической организации, результаты которых используются в конкретном НИИ. В таблице 32 представлены затраты на услуги сторонних организаций.

Таблица 32. Затраты на услуги сторонних организаций

Услуга	Количество	Стоимость одной единицы, руб.	Сумма затрат, руб.
Распечатка на принтере формат А3	4	5	20
Доступ в Internet	2 месяца	390 (в мес.)	780
Итого:			800

#### 7. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент накладных расходов  $k_{\text{накл}}$  равным 90%,

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

Таблица 33. Группировка затрат по статьям

№ п/п	Статьи затрат	Сумма, руб
1.	Сырье, материал(за вычетом возвратных отходов),	35577

	покупные изделия и полуфабрикаты	
2.	Специальное оборудование для научных работ	59298.83
3.	Основная заработная плата	193328.4
4.	Дополнительная заработная плата	23199.4
5.	Отчисления на социальные нужды	35380.8
6.	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями	800
7.	Накладные расходы	194875
Итого плановая себестоимость		542459.43

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

Где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{661535.9}{661535.9} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{370460.1}{661535.9} = 0.56; I_{\text{финр}}^{\text{исп}3} = \frac{542459.43}{661535.9} = 0,82.$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i b^i$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 34.

Таблица 34. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Надежность	0,2	5	3	4
2. Универсальность	0,2	5	4	5
3. Уровень материалоемкости	0,15	4	4	4
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,20	5	5	5
5. Ремонтпригодность	0,1	5	3	5
6. Энергосбережение	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,85	3,15	4,65

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 = 4,85;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 3,9;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,65.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}}$$

$$I_{исп1} = \frac{4,85}{1} = 4,85; I_{исп2} = \frac{3,15}{0,56} = 5,625; I_{исп3} = \frac{4,65}{0,82} = 5,67.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\Theta_{ср}$ ):

$$\Theta_{ср} = \frac{I_{испi}}{I_{испmax}}$$

Таблица 35. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,56	0,82
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	3,15	4,65
3	Интегральный показатель эффективности	4,85	5,625	5,67
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,86	0,99	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности. [26]

## 10. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Введение

В данной выпускной работе был произведён эксперимент для определения характеристики датчика, а также разработан прибор для измерения толщины изоляционной оболочки секторной жилы кабеля. В процессе разработки устройства, были задействованы такие приборы как, источник постоянного тока, мультиметр, компьютер, модуль ЦАП/АЦП.

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 [27] опасные и вредные факторы, возникающие при проведении данной работы, приведены в таблице 36.

Производственный фактор - фактор, воздействие которого на работающего при определенных условиях, приводит к травмам или резкому ухудшению здоровья, возникновению хронических заболеваний или снижению работоспособности.

Таблица 36 - Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
индуктивные датчики расстояния	Электромагнитное поле. Электростатическое поле.	Электрический ток.	Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность - ГОСТ 12.1.038-82; Нормы параметров
Измерительные	Электромагнитно	Электрический	

устройства: источник постоянного тока, мультиметр, компьютер, модуль ЦАП/АЦП, Лампы дневного света.	е поле. Электростатическое поле. Шум. Недостаточная освещённость.	ток.	электромагнитного и электростатического поле описаны в СанПиН 2.2.4.1191-03 и в ГОСТ 12.1.045-84 соответственно.
--	--	------	--

## 1. Производственная безопасность

### 1.1 Анализ вредных и опасных факторов при разработке устройства

#### **Электромагнитное поле**

ЭМП создается магнитными катушками отклоняющей системы, находящимися около цокольной части электронно-лучевой трубки монитора осциллографа или магнито-электрического вольтметра. ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека.

Биологическое воздействие зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности и режимов воздействия ЭМП, размеров, анатомического строения органа, подвергающегося воздействию ЭМП.

Специфическое воздействие ЭМП обусловлено биохимическими изменениями, происходящими в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются центральная и сердечно-сосудистая системы. Наблюдаются нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменение межнейронных связей.

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию. Интенсивность нагрева зависит от количества поглощенной энергии и скорости оттока тепла от облучаемых участков тела. Отток тепла затруднен в органах и тканях с плохим кровообращением. К ним, в первую очередь, относят хрусталик глаза.

Нормы параметров электромагнитного поля описаны в СанПиН 2.2.4.1191-03 [28].

### **Электростатическое поле**

Электростатическое поле возникает в результате облучения экрана потоком заряженных частиц. Неприятности, вызванные им, связаны с пылью, накапливающейся в электростатически заряженных экранах, которая летит на человека во время его работы за осциллографом. Электростатический потенциал, возникающий в теле человека при его работе за монитором, различен и колеблется в пределах  $\pm 0,6$ кВ/м. Потенциал человека служит решающим фактором при осаждении частиц пыли на поверхности тела, что, в свою очередь, может служить причиной кожных заболеваний, порчи контактных линз, при катаракте развивается помутнение хрусталика глаза.

Уровень электростатического поля не должен превышать максимального уровня согласно ГОСТ 12.1.045-84 [29].

### **Повышенный уровень шум**

Шум на рабочих местах создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает из вне. Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека.

Прежде всего, шум влияет на различные отделы головного мозга, изменяя нормальные процессы высшей нервной деятельности (жалобы на

утомляемость, общую слабость, апатию, ослабление памяти и т.д.). При воздействии шума наступают изменения в органах зрения человека (понижается устойчивость острота и чувствительность зрения), а также и в вестибулярном аппарате; нарушаются функции желудочно-кишечного тракта; повышается внутричерепное давление; происходят нарушения в обменных процессах организма и т.п. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации.

В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего человека происходит снижение производительности труда, увеличивается брак в работе, создаются предпосылки к возникновению несчастных случаев. Поэтому в помещениях уровень шума не должен превышать 65дБ согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [30].

Шум на рабочих местах создается внутренними источниками — элементы питания осциллографа и других измерительных приборов, и внешними источниками - шум с улицы.

### **Недостаточная освещённость**

Для оптимизации условий труда имеет большое значение освещение рабочих мест. Задачи организации освещённости рабочих мест следующие: обеспечение различаемости рассматриваемых предметов, уменьшение напряжения и утомляемости органов зрения. Производственное освещение должно быть равномерным и устойчивым, иметь правильное направление светового потока, исключать слепящее действие света и образование резких теней.

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Согласно СП 52.13330.2011 [31], уровень общей освещённости в лаборатории при проведении исследований должно составлять не менее 500 лк и цветовой температурой 400-600 К.

Для разрабатываемого устройства согласно ГОСТ Р 50948-2001 [32] яркость знака должна быть 20 кд/м<sup>2</sup> для плоских дискретных экранов. С учётом минимального объекта различения (пиксель на ЖК дисплее) размером 1 мм, освещённость не должна быть ниже 150 лк.

### **Поражение электрическим током**

В качестве источника поражения тока может выступать блок питания или оголённые токоведущие линии.

Чтобы исключить опасность поражения электрическим током, необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением приборов в сеть должна быть визуально проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети приборы общим выключателем и устранить неисправность;

- запрещается при включенном техники одновременно прикасаться к приборам имеющим естественное заземление (например, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.).

Существуют следующие способы защиты от поражения электрическим током в электроустановках:

- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

Самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током при эксплуатации измерительных приборов и устройств - защитное заземление, которое предназначено для превращения “замыкания на корпус” в “замыкание на землю”, с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание потенциала).

## **2. Экологическая безопасность.**

При работе самого устройства, в окружающую среду ничего не выделяется. После того как устройство отработает свой срок, его необходимо будет утилизировать как обычный бытовой прибор.

## **3. Безопасность в ЧС**

Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть при проведении исследований, является пожар.

Пожар может возникнуть при коротком замыкании в процессе разработки или эксплуатации прибора.

При возникновении пожара необходимо сообщить об этом в городскую пожарную охрану по телефону 01 (при этом необходимо сообщить точный адрес здания, место возникновения пожара или обнаружения признаков пожара, вероятную возможность угрозы людям, а также другие сведения, необходимые диспетчеру пожарной охраны). Кроме того, следует назвать себя и номер телефона, с которого делается сообщение о пожаре.

Оповестить о пожаре или его признаках людей, находящихся поблизости, и принять необходимые меры для эвакуации всех людей из здания (из опасной зоны). При появлении опасных факторов пожара (дым, потеря видимости, высокая температура, токсичные пары горения) немедленно эвакуироваться в безопасную зону. При возможности сообщить о пожаре руководителям, должностным лицам и всем людям, находящимся в здании.

Также, для предотвращения пожара, необходимо иметь рабочий огнетушитель, план эвакуации и разработанные мероприятия при

возникновении пожара. Дополнительно следует провести инструктаж перед началом проведения исследовательских работ.

#### **4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В связи с тем, что в разработке и производстве устройства не используются каких опасных химических веществ и соединений, к данной работе допускаются беременные женщины и люди имеющие болезни связанные с дыхательной системой.

#### **5. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 [34], органы управления производственным оборудованием должны обеспечивать оптимальные условия для управления производственным оборудованием и соответствовать антропометрическим, физиологическим и психофизиологическим свойствам человека, а также характеру работы, должны обеспечивать эффективное управление производственным оборудованием как в обычных условиях эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. Органы управления и функционально связанные с ними средства отображения информации необходимо располагать вблизи друг друга функциональными группами таким образом, чтобы орган управления или рука работающего при манипуляции с ним не закрывали индикаторы. Органы управления в необходимых случаях (например при возможности воздействия на них смежного органа управления, случайного прикосновения, сотрясения и т.п.) должны быть защищены от произвольного или самопроизвольного изменения их положения.

Форма и размеры приводных элементов кнопочных и клавишных выключателей и переключателей должны обеспечивать удобство их применения. Рабочая поверхность кнопок и клавишей, предназначенных для управления пальцем, должна иметь плоскую или слегка вогнутую форму. Рабочая поверхность кнопок, управляемых ладонью, должна быть выпуклой (иметь грибовидную форму). Расстояние между ближайшими точками

приводных элементов кнопочных и клавишных выключателей и переключателей при размещении их на производственном оборудовании должно быть не менее 15 мм, а при работе в средствах индивидуальной защиты - не менее 25 мм. Значение хода приводных элементов кнопочных выключателей и переключателей должно обеспечивать визуальное различие положений «включено» и «выключено».

Данный прибор полностью соответствует требованиям описанным в ГОСТ 12.2.003-91 [34]. Основные и дополнительные надписи крупные и достаточно контрастируют с цветом корпуса. Интерфейс является минималистичным и прост в обращении. Кнопки расположены на достаточно большом расстоянии, чтобы избежать случайного нажатия нескольких сразу.

## 11.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены физические основы вихретокового метода и принцип вихретокового толщиномера.

2. Доказана возможность использования вихретокового метода для измерения толщины оболочки секторной жилы,

3. Получены зависимости выходного напряжения вихретокового преобразователя от изменения расстояния между корпусом преобразователя и поверхностью жилы кабеля для разных зон секторной жилы.

4. С помощью Labview реализовано непрерывное измерение толщины изоляционной оболочки секторной жилы кабеля с высокой точностью.

Технические характеристики разработанного толщиномера

Диапазон измерения (мм)	0.6-3
Допускаемые перегрузки (мм)	+0.2
Количество программируемых функций преобразования	4
Допускаемая основная погрешность	5%
Показатели быстродействия	10 измерений за секунду

## 12. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. 842209–2014 Ван Ю. – Измерение внутреннего диаметра труб внутренним проходным ВТП // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы V научно-практической конференции с международным участием, Томск, 19 – 23 Мая 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – С. 194 – 201

2. 50601–2015 Ван Ю. – Измерение внутреннего диаметра труб внутренним проходным ВТП // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов III Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых. В 4–х томах, Томск, 6–11 Октября 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 39 – 45

3. 1243912–2014 Ван Ю. – Измерение внутреннего диаметра труб внутренним проходным ВТП [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. – 2014 – №. 4(14). – С. 67 – 74. – Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/1094/711>

4. 141002–2016 Ван Ю. – Измерение толщины изоляционной оболочки кабеля накладным ВТБ [Электронный ресурс] // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI Научно-практической конференции с международным участием, Томск, 27–30 Мая 2015. – Томск: ТПУ, 2015 – С. 136–143. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C18/C18.pdf>

5. 887609–2015 Ван Ю. – Измерение толщины изоляционной оболочки секторной жилы накладным ВТП // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25–29 Мая 2015. – Томск: ТПУ, 2015 – Т. 1 – С. 253–257

6. 1144111–2014 – Чжун Я. – Ван Ю. – Разработка системы контроля внутреннего диаметра электропроводящих труб [Электронный ресурс] // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 26–30 Мая 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 397–401. – Режим доступа: [http://portal.tpu.ru/files/departments/ink/INK\\_KONFERENTCIIa\\_NERAZRUSH\\_KONTROL\\_TOM\\_1.pdf](http://portal.tpu.ru/files/departments/ink/INK_KONFERENTCIIa_NERAZRUSH_KONTROL_TOM_1.pdf)

7. Ван Ю. – Измерение толщины изоляционной оболочки секторной жилы накладным втп // VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» Томск, 23 – 27 Мая 2016. – Томск: ТПУ

8. Ван Ю. – Исследование возможности использования вихретокового преобразователя перемещений для измерения толщины изоляции секторной жилы электрического кабеля // «Информационно-измерительная техника и технологии» Томск, 25 – 28 Мая 2016. – Томск: ТГУ

### 13. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токопроводящие жилы силовых кабелей [электронный ресурс] URL: [http://www.proelectro2.ru/info/id\\_8](http://www.proelectro2.ru/info/id_8). Дата обращения: 15.11.2014.
2. Измерение толщин и наружных размеров - Измерение толщины и наружных размеров изоляции и оболочек кабелей - ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 [электронный ресурс] URL: <http://forca.ru/knigi/gost/izmerenie-tolschiny-i-naruzhnyh-razmerov-izolyacii-i-obolochek-kabeley-gost-r-mek-60811-1-1-98-2.html>. Дата обращения: 15.11.2014.
3. Профильный CPJ-3015 [электронный ресурс] URL: <http://optik-shop.ru/proektory/cpj-3015/>. Дата обращения: 15.11.2014.
4. Multi-core cable insulation layer thickness measuring instrument [электронный ресурс] URL: <http://www.google.com/patents/CN104215207A?cl=zh>. Дата обращения: 15.10.2015.
5. Ультразвуковой контроль сварных соединений на примере стыкового сварного соединения [электронный ресурс] URL: [http://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635a2bd78b5d53a89521316c36\\_0.html](http://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635a2bd78b5d53a89521316c36_0.html) Дата обращения: 15.10.2014.
6. Устройство контроля толщины изоляции УКТ-2 [электронный ресурс] URL: <http://www.geo-ndt.ru/pribor-658-ystroistvo-kontrolya-tolshini-izolyacii-ykt-2.htm> Дата обращения: 15.10.2014.
7. Measurement of cable covering thickness [электронный ресурс] URL: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&П=1&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_ru&FT=D&date=19850228&CC=JP&NR=S6038610A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&П=1&ND=3&adjacent=true&locale=ru_ru&FT=D&date=19850228&CC=JP&NR=S6038610A&KC=A) Дата обращения: 15.10.2015.
8. Толщиномер [электронный ресурс] URL: <http://cn.diytrade.com/china/pd/11981686/%E8%96%84%E8%86%9C%E6%B5%8>

B%E5%8E%9A%E4%BB%AA.html Дата обращения: 15.10.2014.

9. Device for measuring thickness of outer insulation layer of two-layered cable [электронный ресурс] URL: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_ru&FT=D&date=20070510&CC=JP&NR=2007115461A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_ru&FT=D&date=20070510&CC=JP&NR=2007115461A&KC=A) Дата обращения: 15.10.2015.

10. Рентгеновское излучение [электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5\\_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) Дата обращения: 15.10.2015.

11. Контрольно-измерительные технологии для линий по производству кабеля [электронный ресурс] URL: [http://downloads.german-pavilion.com/downloads/pdf/exhibitor\\_23819.pdf](http://downloads.german-pavilion.com/downloads/pdf/exhibitor_23819.pdf) Дата обращения: 15.11.2014.

12. Method for measuring the wall thickness of a plastic sheathing for an electrical core or cable, in particular a power cable [электронный ресурс] URL: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_ru&FT=D&date=20080221&CC=US&NR=2008043907A1&KC=A1](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_ru&FT=D&date=20080221&CC=US&NR=2008043907A1&KC=A1) Дата обращения: 15.10.2015.

13. Принцип работы устройств по определению толщины покрытый [электронный ресурс] URL: <http://www.devicesearch.ru/article/8488> Дата обращения: 15.02.2015.

14. Магнитный толщиномер покрытий МТ-201 [электронный ресурс] URL: <http://www.geo-ndt.ru/pribor-758-magnitnii-tolshinomer-pokritii-mt-201.htm> Дата обращения: 10.03.2015.

15. Физические основы получения информации: учебник / А.Е. Гольдштейн; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.

16. Толщиномер покрытий ТМ-2/ТМ-3/ТМ-4 [электронный ресурс] URL: <http://www.blagovestnk.ru/catalog/8/272/> Дата обращения: 15.03.2015.

17. Measuring head for inductive measurement of the thickness of an insulating layer on an electric conductor [электронный ресурс] URL: <http://www.google.com/patents/US4764724> Дата обращения: 15.10.2015.

18. Method for measuring wall thickness of outer coating of electrical cable [электронный ресурс] URL: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&P=3&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_ru&FT=D&date=19820105&CC=JP&NR=S57506A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&P=3&ND=3&adjacent=true&locale=ru_ru&FT=D&date=19820105&CC=JP&NR=S57506A&KC=A) Дата обращения: 15.10.2015.

19. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Ключева: в 7 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.

20. Датчик положения аналоговый индуктивный ДПА-М18-76У-1110-Н [электронный ресурс] URL: <http://www.sensor-com.ru/sensors/dpa-m18-76u-1110-n>, дата обращения: 20.10.2014.

21. Датчик расстояния индуктивный BAW M18MG-UAC80F-S04G [электронный ресурс] URL: [http://www.murri.fi/documents/balluff/BAW/BAWM18MG\\_UAC80F\\_S04G\\_en.pdf](http://www.murri.fi/documents/balluff/BAW/BAWM18MG_UAC80F_S04G_en.pdf), дата обращения: 25.02.2015.

22. Датчик расстояния индуктивный BAW M12MF2-UAC40F-BP03 [электронный ресурс] URL: [http://www.sensotronik.se/pdf/01ind/BUF/BAWM12MF2\\_UAC40F\\_BP03\\_en.pdf](http://www.sensotronik.se/pdf/01ind/BUF/BAWM12MF2_UAC40F_BP03_en.pdf), дата обращения: 25.02.2015.

23. Аппроксимации данных наблюдений среде MathCAD Pro [электронный ресурс] URL: [http://mas.exponenta.ru/literature/Exp\\_1.pdf](http://mas.exponenta.ru/literature/Exp_1.pdf) Дата обращения: 05.02.2015.

24. USB3000. Скоростной АЦП с буферизацией входов на шину USB. [электронный ресурс] URL: <http://www.autex.spb.ru/usb3000.php> Дата обращения: 15.2.2016.

25. Описание LabVIEW [электронный ресурс] URL: [http://mikrofan.narod.ru/about\\_labview/](http://mikrofan.narod.ru/about_labview/) Дата обращения: 15.12.2015.

26. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

27. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.

28. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях

29. ГОСТ 12.1.045-84 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда.

30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки

31. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

32. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности

33. ГН 2.1.6.695-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

34. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Выполнение работы на основе микроконтроллера

#### Анализ структурной схемы



Рисунок 11.1. Общая структура системы: У/Д — усилитель или делитель; АЦП— аналого-цифровой преобразователь; МП — микропроцессор; ЭК — экран

Система, представленная на рисунке 11.1, структурная схема ИИС. Датчики преобразуют физическую величину в электрическое напряжения. Усилитель или делитель для того, чтобы диапазон сигнала в соответствии с требованиями входного диапазона АЦП. В ней АЦП непрерывно дискредитирует сигнал с частотой, равной  $f_d$ , и выдает новый отсчет процессору с такой же частотой. АЦП необходим для конвертирования аналоговой величины в цифровой код, для последующей обработки микропроцессором.

Микропроцессор в соответствии с заданным алгоритмом цифровой обработки (оператором  $\Phi$ ) входной цифровой сигнал  $x(n \cdot T_d)$  преобразуется в выходной цифровой сигнал системы  $y(n \cdot T_d) = \Phi[x(n \cdot T_d)]$ .

Индикация осуществляется согласно техническому заданию семисегментными индикаторами.

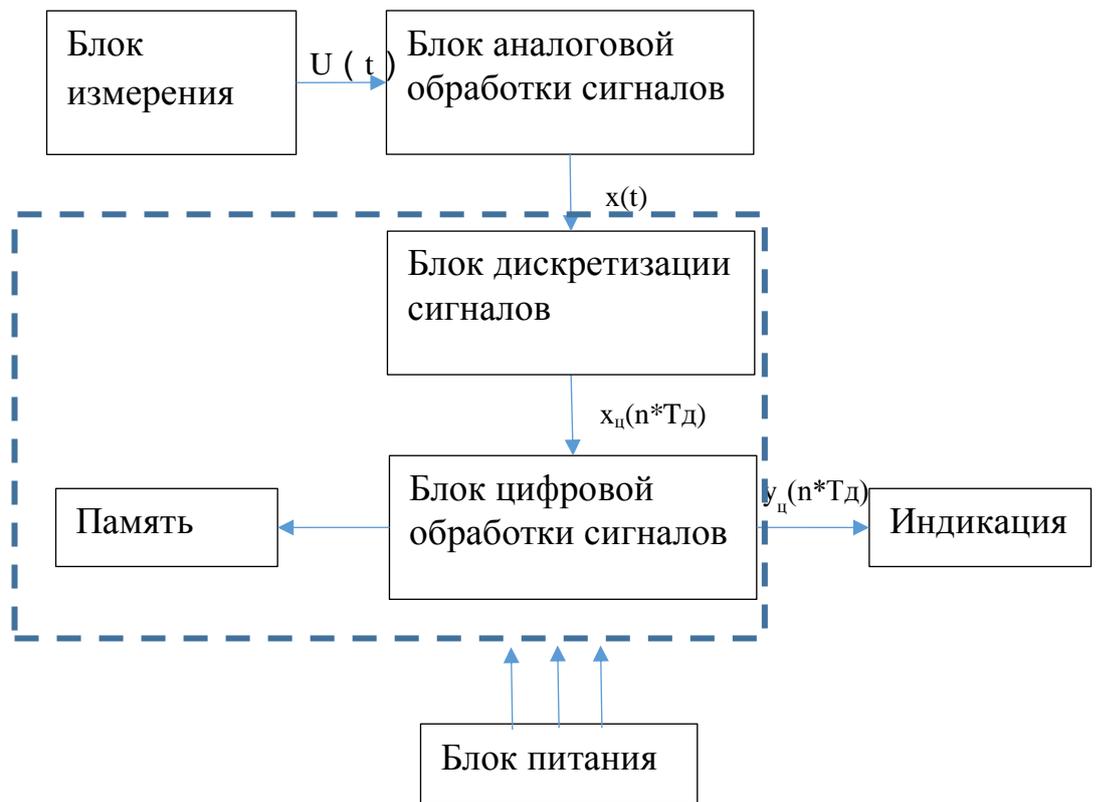


Рисунок 1.2. функциональная схема

### Расчет принципиальной схемы.

### Выбор микропроцессора.

Для конструирования данного прибора подойдет микроконтроллер общего назначения. Не требуется большое быстродействие, желательно наличие АЦП, а также как минимум 6 вводов выводов для одновременно измерения для 6 точек. Выберем МК MSP430F149.[4]

Микроконтроллеры MSP430 - это процессоры для обработки смешанных (аналоговых и цифровых сигналов), обладающие сверхнизким энергопотреблением. Наиболее перспективными сферами применения микроконтроллеров являются производство измерительных приборов, портативных медицинских устройств, спортивного оборудования.

Отличительные особенности:

Напряжение питания 1.8 - 3.6 V

Низкое потребление тока :

- 280 мкА, 1МГц, 2.2 V

- 2.5 мкА, 4 кГц, 2.2 V

Пять режимов снижения потребления тока: LPM0-LPM4 (30 мкА - 0.8 мкА)

Возврат в рабочий режим за 6 мкс

16-Битовая RISC архитектура, время исполнения инструкции - 125 нс

Единственный 32 кГц керамический резонатор, внутренняя системная частота - до 3.3 МГц

16-битовый таймер с 6 регистрами слежения/сравнения

16-битовый таймер с 3 регистрами слежения/сравнения

Встроенный компаратор

12 разрядный АЦП с источником опорного напряжения

Сторожевой таймер ( 16 бит )

Порты ввода-вывода : 32 линий

Два аппаратных UART

Последовательное программирование ( JTAG )

Защита программного кода

Серия включает в себя микроконтроллеры :

- MSP430F149: 60 КБайт + 256 байт Flash, 2 КБайт RAM

Корпус: 64 QFP

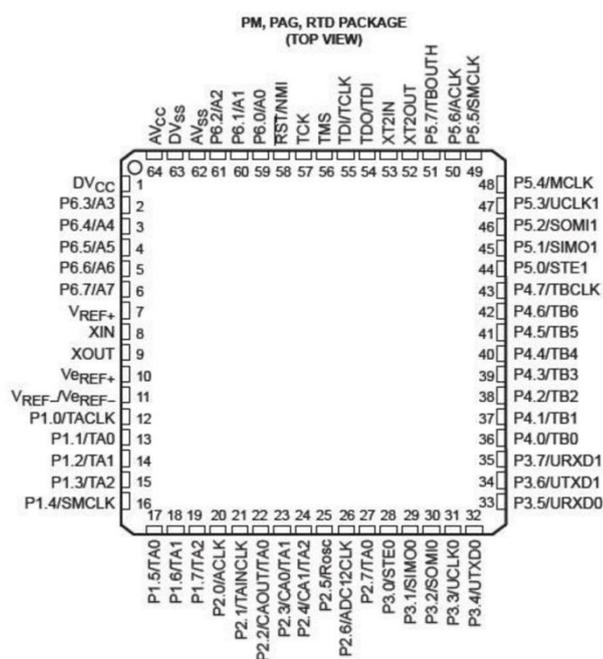


Рисунок 11.3. Микропроцессор MSP430F149.

Разработка У/Д

Выходное напряжение до 10 В, а входное напряжение АЦП, включая в МК от 0 до 2.5В, так как надо делитель напряжения.

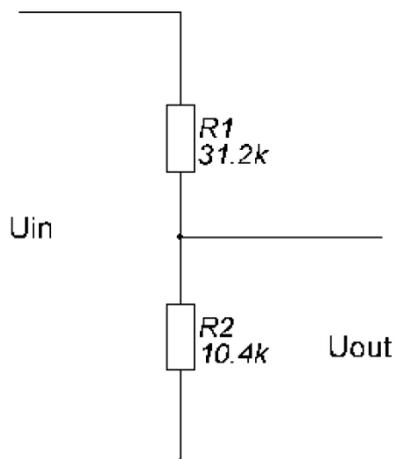


Рис . 11.4. делитель

$$K_d = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.25$$

Таблица 37. Типы и номиналы пассивных элементов ФНЧ.[5]

Обозначение	Тип	количество
R1	C5-27 – 0.05 – 31.2 кОм ±0,01%	1
R2	C5-61 – 0.05 – 1.04 кОм ±0,01%	1

Разработка внешнего источника питания

Для датчика, можно прямо включиться в источник питания постоянного тока. От низкого потребления нашего микроконтроллера, можно выбрать 3В как напряжение питания. Таким образом, необходимо разработать внешнего источника питания. Для этого воспользуемся TPS76301. [6]

Таблица 38. Характеристики TPS76301

Тип регулятора	LDO
Входное напряжение	2.7-10В
Выходное напряжение	1.5-6.5В
Внешняя регулировка выходного напряжения	ADJ
Максимальный выходной ток	150мА
Ток собственного потребления	85мкА
Погрешность установки выходного	3%

напряжения	
Допустимое падение напряжения	180мВ
ВХОД-ВЫХОД	

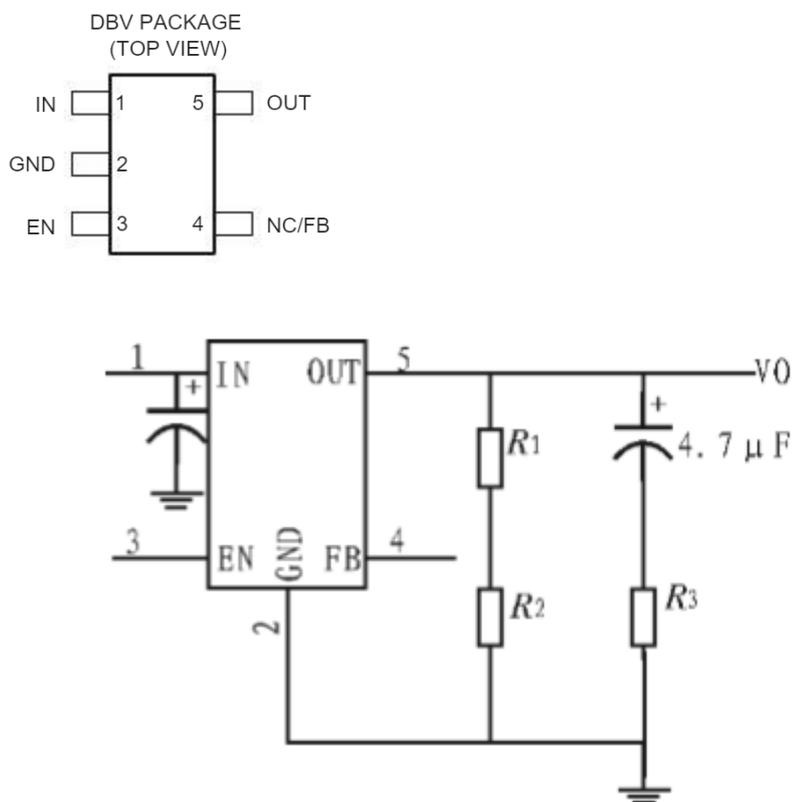


Рисунок 11.5. Блок внешнего питания

### Выбор экрана

В качестве экрана выбран АТМ12864D, АТМ12864D является матричный ЖК-модуль графический который изготовлен по низким COMS силовым технологии. Он может отображать 128 \* 64 точек, размер ЖК-панели, используя Растровый дисплей 128 \* 64 RAM данных (DDRAM). Это взаимодействует с 8-битного микропроцессора.

особенности

- Формат дисплея: 128 \* 64 точек матрицы графический
- Простой интерфейс с 8-битной MPU
- Низкая потребляемая мощность
- LED Подсветка
- Метод л Вождения: 1/64 обязанность, 1/9 смещения

Таблица 39. Параметры экрана АТМ12864D[7]

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT	NOTE
Operating voltage	$V_{DD}$	-0.3 ~ +7.0	V	*1
Supply voltage	$V_{EE}$	$V_{DD}-19.0 \sim V_{DD}+0.3$	V	*4
Driver supply voltage	$V_B$	-0.3 ~ $V_{DD}+0.3$	V	*1,2
	$V_{LCD}$	$V_{EE}-0.3 \sim V_{DD}+0.3$	V	*3,4

## Разработка программы

### Алгоритм программы

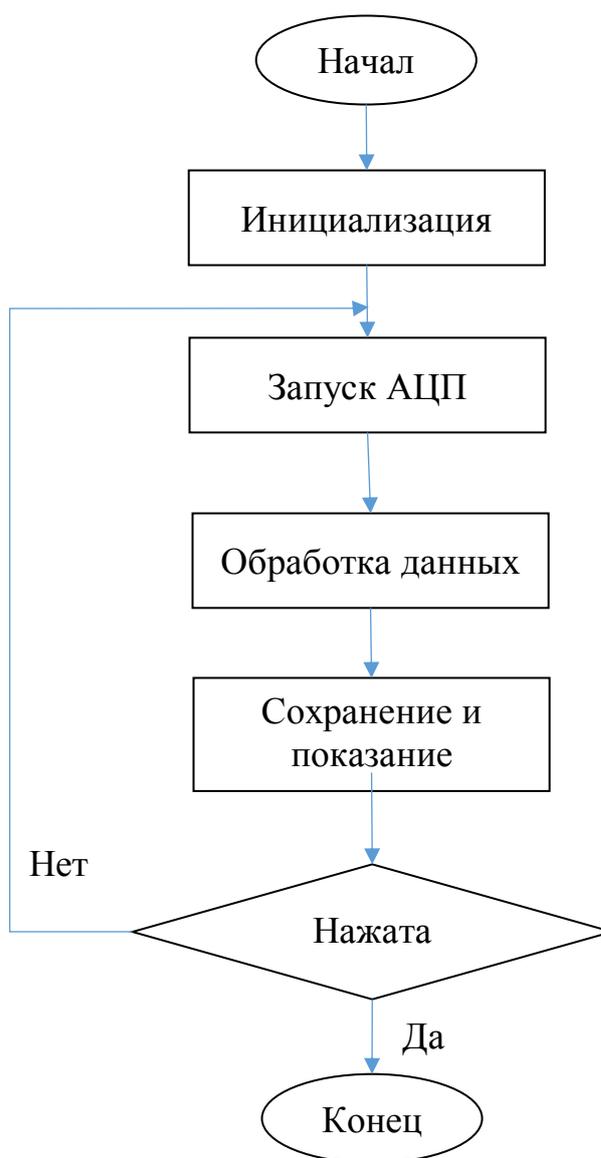


Рисунок 11.6. Алгоритм

## 6. Расчет погрешности

Рассчитаем погрешность устройства, которая складывается из АЦП делителя и датчика:

$$0.5 \geq \sqrt{\gamma_{\text{дат}}^2 + \gamma_{\text{дел}}^2 + \gamma_{\text{ацп}}^2}$$

$$\gamma_{\text{дел}} = \sqrt{\gamma_{R1}^2 + \gamma_{R2}^2}$$

$$\gamma_{R1} = \gamma_{R2} = 0.01\%$$

$$\gamma_{\text{дел}} = 0.014\%$$

Независимо от способа построения АЦП всем им присуща методическая погрешность, обусловленная погрешностью квантования. Которая считается по формуле:

$$\gamma_{\text{ацп}} = \frac{1}{2^{n-1}} \cdot 100\%$$

Где  $n$  – количество разрядов АЦП

Рассчитаем погрешности для АЦП для 12 разрядов.

$$n = 12; \gamma_{\text{ацп}} = 0.049\%$$

Погрешность датчика зависит от температуры, аппроксимации и т.д., но не превышает 1%

$$\gamma = \sqrt{0.014^2 + 0.049^2 + 1^2} \approx 1.02\%$$

Полученная общая погрешность соответствует поставленным в задании требованиям, то есть меньше 2%.

### **Принципиальная схема**



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Раздел

Analytical reviews and experiment

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4Б	Ван Юй		

Консультант кафедры ФМПК :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гольдштейн А.Е.	Д.Т.Н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ФТИ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалева Ю.Ю.	к.п.н.		

## introduction

Cables and wires are the most important products. The cable industry is distinguished by high technology, energy consumption, resource consumption and the high degree of automation. The technical level of cable products reflects the level of economic and technological development of the country's industry.

The quality of cable products is characterized by various geometrical and electrical parameters. The thickness of insulating layer is an important parameter. In relation to the high-voltage cables, it is directly related to electrical safety, however, in terms of saving expensive raw materials, measuring the thickness of the insulating layer of the cable is an actual problem.

In according to GOST R IEC 60811-1-1-98 "Measurements of thickness and overall dimensions. Tests for determining the mechanical properties" for the sector cable need to measure six dimensions, as shown in Fig. 1 (M.t. - minimum thickness) [2].

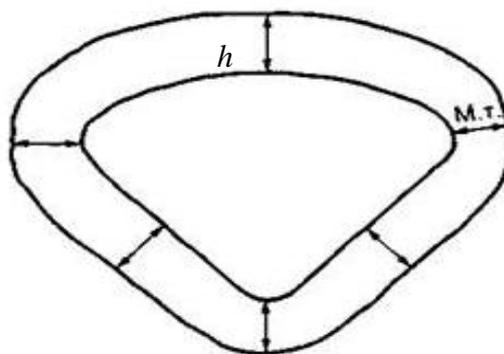


Fig. 1. Six points for measuring the thickness of the insulating layer

### 1. Mechanical method

According to GOST R IEC 60811-1-1-98, at least, the magnification of measuring microscope or profile projector is 10 times. When the thickness of insulation is less than 0.5 mm, a measuring instrument should be used, the scale interval of which is 0.01 mm and able to read up to three decimal places. If the thickness of insulation is 0.5 mm or more, a measuring instrument should be used, the

scale interval of which is 0.5 mm and able to read up to two decimal places. In case of dispute a measuring microscope should be used.

Using the appropriate tools (sharp knife, razor, etc.) cut the insulation. along the plane, which perpendicular to the longitudinal axis of the cable. The sample is placed on the table so that the cross section was perpendicular to the optical axis.

#### Valuation

Advantages of the mechanical method are as follows: high accuracy. But the main shortcomings: destructive method, need to prepare samples, manual operation and cannot realize automatic measurements.

## **2. The capacitive method**

Capacitive method and means for measuring the thickness based on the dependence of the complex electrical impedance of the capacitor on the gap between the inverter and the conductive base on which the insulating coating is applied.

Capacitance plane capacitor composed of two parallel metal plates each area  $S$  is situated at a distance  $d$  from each other, is expressed by the formula:

$$C = \epsilon \epsilon_0 S d,$$

where  $\epsilon$  - dielectric constant of the medium filling the space between the plates (in a vacuum is equal to unity),  $\epsilon_0$  - electric constant is numerically equal to  $8.854187817 \times 10^{-12} \text{ F / m}$ .

Based on the capacitor, electric field of which is uniformly in the working gap, capacitive distance sensors can be created.

There are capacitive sensors measuring the thickness of the dielectric films and coatings, consisting of two electrodes between which is placed the measured dielectric film. Depending on the film thickness changes the capacitance formed by these electrodes is measured by electrical means. Figure 2 shows a structure of capacitive measuring transducer for the thickness of insulation.

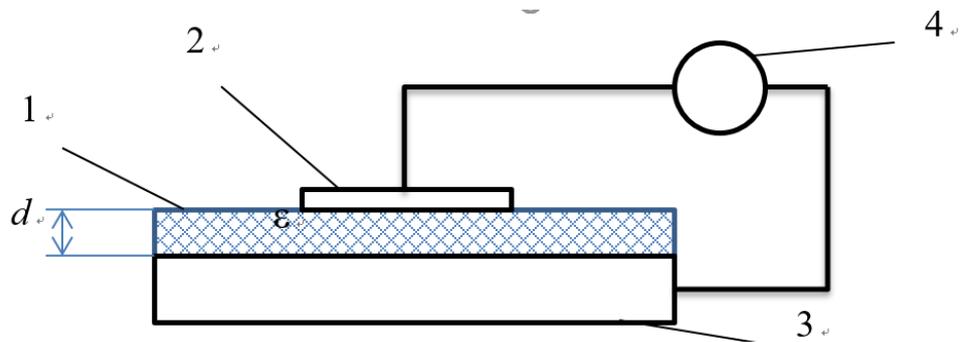


Fig. 2. The capacitive method of measuring the thickness of the dielectric coating: 1 - dielectric coating; 2 - capacitive sensor; 3 - conductor base; 4 - measuring electrical resistance.

## Valuation

Capacitive sensors offer a number of advantages over other types of sensors.

These advantages include:

Easy to manufacture, the use of inexpensive materials for production; small size and weight; low energy consumption; high sensitivity; long lifetime; opportunity automatic measurement process. Valuable quality capacitive sensors - small quantity of mechanical force needed to move it to the moving part, the possibility of adjusting the output of the servo system and high precision work

The disadvantages of capacitive sensors include: the need for contact with the OC; a relatively small transmission ratio (conversion); high demands on shielding parts; the need to work at high (compared with the 50 Hz) frequency. Most important, the only method for insulating coatings on conductive substrates.

### 3. The method of radiation (X-rays)

The radiation method is based on the interaction of penetrating radiation controlled object. Penetrating radiation (X-ray, neutron flux,  $\gamma$ - and  $\beta$ -rays) passing through the thickness of the material items and interacting with its atoms are a variety of information about the inner structure of matter.

X-ray radiation - electromagnetic wave energy photons which lies on the scale of electromagnetic waves between ultraviolet and gamma radiation, corresponding to wavelengths from 10.2 to 102 Å (from 10<sup>-12</sup> to 10<sup>-8</sup> m).

X-ray wavelength comparable to the size of atoms, so there is no material which could be made to X-ray lens. Furthermore, at normal incidence to the surface of the X-rays hardly recognized. Despite this, in x-ray optics we have found ways to build optical elements for X-rays. In particular, it became clear that they reflect well the diamond.

X-rays can penetrate through the material, with different substances in different ways to absorb them. The absorption of X-rays is the most important property of X-ray photography. The intensity of the X-rays decreases exponentially as a function of distance traveled in the absorbing layer:

$$I = I_0 e^{-kd},$$

where  $d$  - thickness, coefficient  $k$  is proportional  $Z^3 \lambda^3$ ,  $Z$  - the atomic number of the element,  $\lambda$  - wavelength).

Absorption occurs as a result of photoabsorption (photoelectric effect) and Compton scattering.

Thus, the method can be used to measure the radiation coating thickness by measuring X-ray intensity after transillumination, as shown in Fig.3.

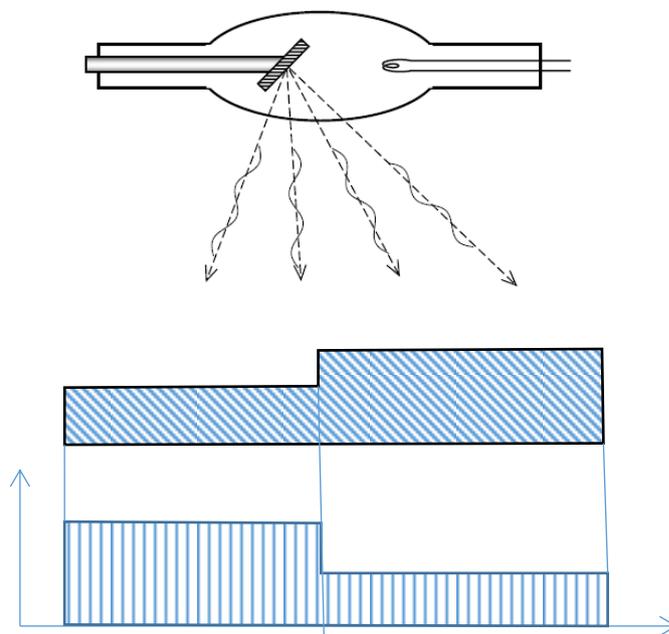


Fig. 3 The scheme of radiographic control

Valuation

The advantages of radiometry: high sensitivity (higher than radiography), high performance, non-contact quality control of moving products, which is especially convenient for mass production (possible implementation of feedback from the process). The disadvantages of radiation techniques must first carry harmful to humans, and therefore require special radiation safety measures: screening, increasing the distance from the radiation source and the restriction of the residence time of the operator in the danger zone. And internal defects also affect the results of the thickness measurement.

#### **4. Magnetic method**

The principle of magnetic thickness gauges are based on the properties of the permanent magnets. They enable measurement of non-magnetic coatings applied to magnetic base, as shown in Figure 4. Measuring process is carried out based on the evaluation of interaction force of the magnet and the base gauge of the measured surface. Changing the thickness of the coating changes the strength of interaction between the magnet and the base of specially calibrated measuring scale.

Measurement process may be to analyze the interaction force of the permanent magnet, which is an integral part of the gauge, with the base of the object (the coating). The strength of the interaction is directly related to the measured thickness. A good relationship is a reflection of the scale calibrated instrument. Also, as the primary variable potential difference arising when placing the object under study in a magnetic field can be used in the measurement (Hall effect).

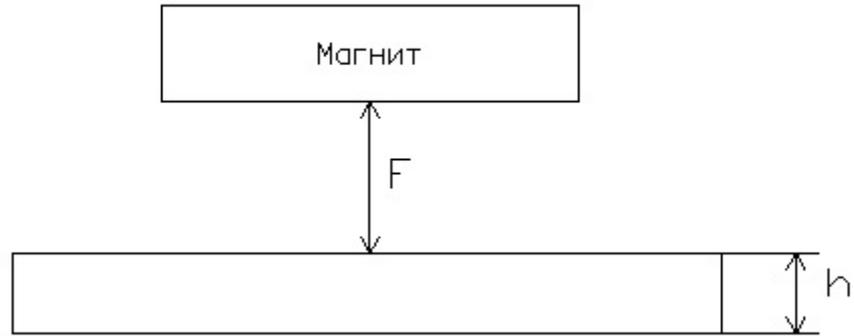


Fig. 4. Measuring principle of coating thickness using magnetic method

### 5. Eddy current method

Measuring changes in the eddy current fields are based on the excitation of conductive objects in an alternating magnetic field and the eddy currents, depending on the parameters of the current properties of the object.

Fig. 5 shows the principle of excitation of the eddy current in the electrically conductive objects.

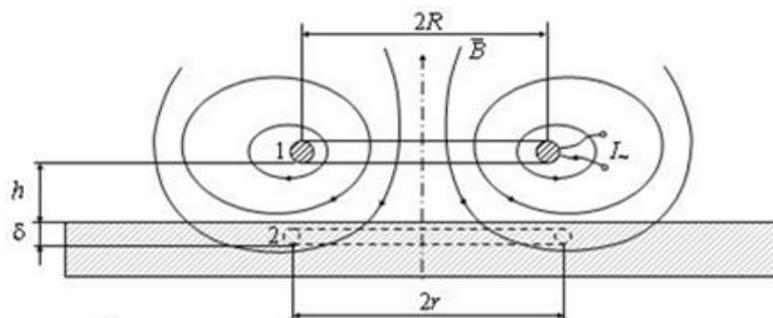


Fig. 5 shows the principle of excitation of the eddy current in the electrically conductive objects

Eddy current thickness gauge refers to the non-destructive testing and can be used to measure the thickness of the dielectric coating on an electrically conductive base.

Lowering the test coating thickness causes a change in the eddy current sensor and the enhancement of its effect on the amplitude of the current in the coil. Since there is a correlation between the density of the coating and thickness of

produced field eddy current, and it allows the numerical evaluation of coating thickness by this method.

evaluation

Eddy current testing (ECT) can be carried out while OK moving relatively to ECS (Eddy current sensor), the speed with production control can be significant, that provides high performance control.

An additional advantage of the method is the fact that the ECS signals practically do not affect the humidity, pressure and gas environment pollution, radioactive radiation, surface contamination OK nonconductive materials, as well as the simplicity of the ECS design.

But the Eddy currents are only conductive materials; they are used only to measure the thickness of dielectric coatings on electrically conductive base.

## **6 The choice of method**

From all the above, we chose the eddy current method.

Eddy current testing can be carried out while the speed of control can be significant, and provides high performance control.

An additional advantage of the method is the small influence of external factors.

### **Experimental part**

The aim of the experiment was to research the dependence of the eddy current transducer's output voltage on changes in distances between the probe housing and the surface of the cable.

As the shape of a sector cable is symmetrical, it is possible to carry out experiments at four points. Fig. 6 shows the scheme for measuring the thickness of insulation using overlaid eddy current sensor.

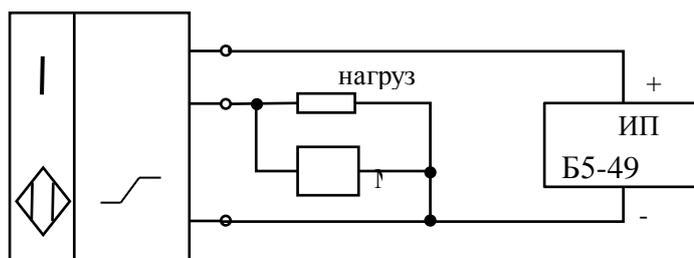


Fig. 6 A scheme for measuring the thickness of insulation using overlaid eddy current sensor

Using the sensors of distance BAW M18MG-UAC80F-S04G [3] and BAW M12MF2-UAC40F-BP03 [4]. Main characteristics of the sensors are given in Table 1.

Table 1. Key Features BAW sensors

Type sensors	BAW M18MG-UAC80F-S04G	BAW M12MF2-UAC40F-BP03
Linear sensitive area (mm)	2—8	1—4
Diameter (mm)	M18×1	M12×1
Linearity (microns)	±180	±90

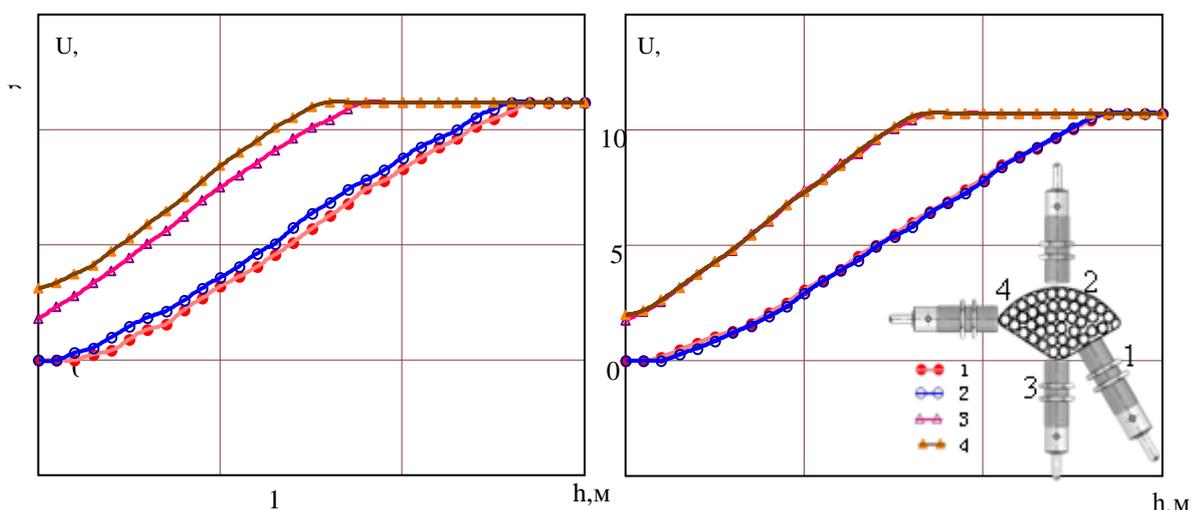


Fig. 7 Dependence of the sensor's output voltage on the change of the gap for sensors BAW M12MF2-UAC40F-BP03 (left) и BAW M18MG-UAC80F-S04G (right)

According to the results of the experiment, the dependence of the sensor's output voltage on the change of the gap between the probe housing and the surface of

the cable core for four points was built. Dependencies are shown in Fig. 7 for sensors BAW M18MG-UAC80F-S04G and BAW M12MF2-UAC40F-BP03.

### Structural diagram and the development of computer software for signal processing

The system which is shown in Fig. 8, works to measure the thickness of the insulating layer.

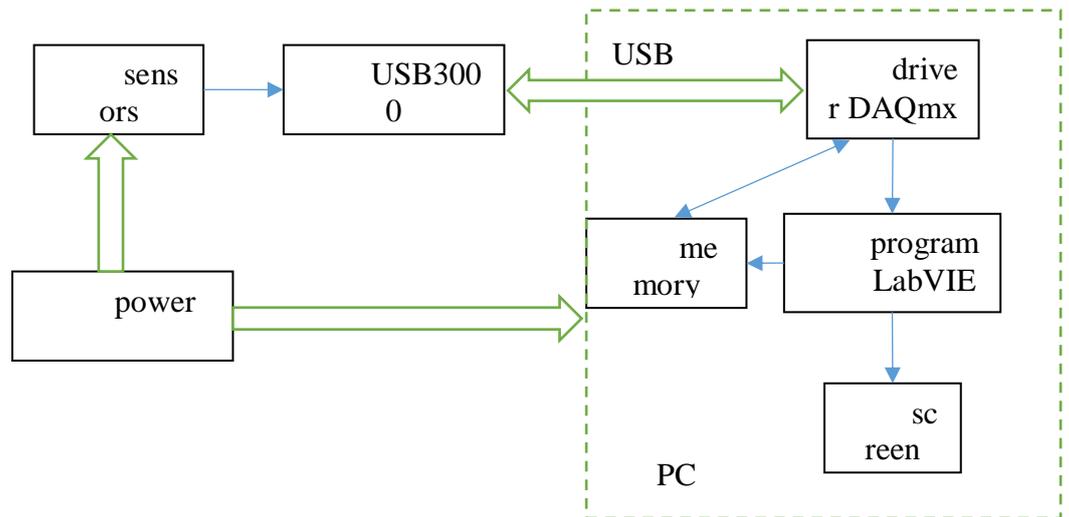


Fig. 8. Structural diagram

The sensor, which measures the distance into an electrical voltage with analog output. For writing analog signal into a computer, use the USB-3000 module, the module is a universal measuring device. High speed broadband of signal allows to explore and speed up processes.



Fig.9. The front panel

With LABView program, this product has been developed. The front panel is shown in Figure 9.

Using the samples which thickness are 1mm and 2.1mm, the measurement error is determine

For each point, 10 measurements are carried out, relative errors of the measurement values from the actual values are calculated.

Relying on the experimental data, it can be said that the relative error of measurement for each point is within 3%. Thus, this device is reliable and accurate, and can be used to measure the thickness of the insulating layer of the sector cable.