

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки приборостроение
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка метрологического обеспечения измерения погонной емкости электрического провода в технологическом контроле

УДК 621.3.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Мазиков Сергей Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Вавилова Галина Васильевна	к. т. н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к. т. н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Суржиков Анатолий Петрович	д. ф-м. н		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Мазикову Сергею Валерьевичу

Институт	Институт неразрушающего контроля	Кафедра	Физических методов и приборов контроля качества
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно методическое пособие
2. Технология оценки бизнеса QuaD
3. Словарь маркетинговых терминов

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 3. Планирование научно исследовательских работ 4. Определение ресурсной(ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 	<ol style="list-style-type: none"> 3.1. Структура работ в рамках научного исследования 3.2. Определение трудоемкости выполнения работ 3.3 Разработка графика проведения научного исследования 3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 4
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Мазиков Сергей Валерьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Мазикову Сергею Валерьевичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Физических методов и приборов контроля качества
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Прибор для измерения емкости провода
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	<p>При разработке прибора для измерения емкости к физическим вредным факторам относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Электростатическое поле; - Электромагнитное поле; - Неблагоприятные условия микроклимата. <p>К физическим опасным производственным факторам относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Термическая опасность; - Поражение электрическим током
2. Экологическая безопасность:	Оценка воздействие на атмосферу и литосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятным ЧС, которое может возникнуть в лаборатории, является пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул, прибор для измерения емкости провода.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Мазиков Сергей Валерьевич		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Способность совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;	Требования ФГОС (ОК-1) Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способность адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ПК-19) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-12,13,16-18,12,22) Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-10,19) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении..	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5-7), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Умение профессионально эксплуатировать современное	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.	5,6,8,20), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способность проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5,10,13,22), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Умение разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-1,ПК-7,14,15) ПК-2,26,27,28) Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Умение организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-2,6,14,20) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-1,2,6,13) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р11	<p>Способность формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности</p>	<p>Требования ФГОС (ОПК-1,3, ПК-3,4,9,11)</p> <p>Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i></p>

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки (специальность) 12.04.01 Приборостроение
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ А.П Суржиков
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Мазикову Сергею Валерьевичу

Тема работы:

Разработка метрологического обеспечения измерения погонной емкости электрического провода в технологическом контроле

Утверждена приказом директора (дата, номер)

09.11.2016, № 9649/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Прибор для измерения емкости провода САР-10

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>	<p>Параметры одножильного электрического провода</p> <p>Влияние изменения электропроводности воды на результат измерения емкости провода</p> <p>Структурная схема измерителя емкости САР-10 и принцип его работы</p> <p>Метрологическое обеспечение САР-10: первичная и «рабочая» настройки прибора</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Часть на иностранном языке	Прохорец Елена Константиновна
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
Измерение емкости провода	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Вавилова Галина Васильевна	К. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Мазиков Сергей Валерьевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 98 с., 23 рис., 14 табл., 38 источников, 2 прил.

Ключевые слова: электрический одножильный провод, погонная емкость, удельная электропроводность, электропроводность воды, отстройка от влияния. первичная настройка, рабочая настройка, калибровка, полиэтилен, поливинилхлорид, электроемкостный измерительный преобразователь.

Объектом исследования является электрический одножильный провод и его емкость.

Цель работы – исследование условий проведения выходного и технологического контроля погонной емкости провода и влияния изменения этих условий на результат контроля. Проведение первичной и рабочей настроек, и калибровки прибора для измерения емкости провода.

В процессе исследования изучены требования ГОСТа 27893-88 и национальный стандарт UL 1581 к условиям проведения выходного контроля погонной емкости электрического одножильного провода и проведены эксперименты по изучению влияния изменения условий контроля на результат измерения погонной емкости. Так же изучены условия проведения технологического контроля.

В результате исследования было выявлено, что удельная электропроводность воды зависит от температуры, концентрации и хим. состава примесей; для уменьшения погрешности измерения емкости провода необходимо учитывать текущее значение удельной электропроводности воды; необходимо внести более конкретные параметры условия проведения измерения емкости провода в новую редакцию ГОСТа, регламентирующего порядок проведения испытаний кабельных изделий; разработана методика проведения первичной настройки прибора; предложена методика автоматизированного проведения «рабочей» настройки, позволяющая

исключить мультипликативную и аддитивную составляющих погрешностей измерения.

Область применения: выходной и технологический контроль погонной емкости при производстве кабельных изделий.

Экономическая эффективность/значимость работы: позволяет повысить качество производства одножильного электрического провода

В будущем планируется внедрение прибора на производстве кабельных изделий.

Содержание

Термины и определения.....	13
Введение	15
1 Классификация кабельных изделий	17
1.1 Погонная емкость провода	18
1.2 Основные этапы производства провода.....	21
2 Контроль емкости при производстве провода	28
2.1 Выходной контроль емкости провода.....	29
2.2 Технологический (операционный) контроль	31
2.3 Исследование влияния удельной электропроводности воды на результат измерения погонной емкости	31
2.3.1 Влияние концентрации примесей в воде	32
2.3.2 Влияние температуры воды	34
3 Использование САР-10 для контроля емкости провода	36
3.1 Прибор для измерения емкости САР-10.....	36
3.2 Конструкция ЭЕИП.....	39
3.3 Лицевая панель блока визуализации	40
4 Метрологическое обеспечение	42
4.1 Влияние изменения электропроводности воды на результат контроля .	43
4.2 Первичная настройка	44
4.3 Влияние температуры воды охлаждающей ванны на результат измерения емкости.....	47
4.4 «Рабочая» настройка	48
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	50
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.	52
5.3 Планирование научно-исследовательских работ	53
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. .	60
6 Социальная ответственность	64

6.1 Производственная безопасность	64
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.	64
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.	65
6.2 Экологическая безопасность.	69
6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	69
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	70
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	70
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	70
6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта.	71
6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	71
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	72
Заключение	74
Список публикаций студента	76
Список использованных источников	80
Приложение 1 Образцы проводов для проведения эксперимента.	86
Приложение 2	88

Термины и определения

Термины и определения, используемые в работе приведены в соответствии с ГОСТ 15845-80 «Изделия кабельные. Термины и определения» [1].

Кабельное изделие – электрическое изделие, служащее для изготовления обмоток электрических устройств, отличающиеся гибкостью и предназначенное для передачи по нему электрической энергии, электрических сигналов информации.

Электрический провод – кабельное изделие, состоящее из одной или нескольких скрученных проволок или одной, или более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься легкая неметаллическая оболочка обмотка и (или) оплетка из волокнистых материалов или проволоки, и не предназначенное, как правило, для прокладки в земле.

Токопроводящая жила – элемент кабельного изделия, предназначенный для прохождения электрического тока.

Изоляция – элемент, препятствующий прохождению электрического тока [1].

Электрическая емкость – характеристика проводника, мера его способности накапливать электрический заряд [2].

Настройка – процесс регулирования прибора с целью обеспечения соответствия прибора его технической документации [3].

Калибровка – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений [4].

Метрологическое обеспечение – систематизированный, строго определенный набор средств и методов, направленных на получение

измерительной информации, обладающей свойствами, необходимыми для выработки решений по приведению объекта управления в целевое состояние [5].

Введение

Качество передачи информации с помощью провода напрямую зависит от постоянства емкости по всей длине провода. По результатам измерения емкости можно выявить отклонение как геометрических, так и электрических параметров провода.

По соответствию конструктивных размеров оценивается большинство кабельных изделий по требованиям стандартов. В этом случае нужно контролировать соответствие требованиям нормативных документов геометрических размеров кабельных изделий. Основными считаются такие, как диаметр жилы, толщина изоляции, диаметр внешней оболочки изоляции, эксцентricность (смещение центра жилы от центра кабеля). Также важным для качества кабельных изделий это отсутствие в конструкции самого изделия различного рода дефектов изоляции, таких как: трещины, порезы, локальные увеличения и уменьшения внешнего диаметра изоляции, инородные включения в изоляции.

Погонная емкость одна из основных нормируемых величин, которая определяет качество кабельного изделия. Емкость провода в значительной степени зависит от его геометрических размеров и электрических свойств изоляции. Поэтому изменение погонной емкости может свидетельствовать об отклонении геометрических параметров провода или электрических характеристик изоляции. А резкое изменение емкости является показателем наличия несплошностей в изоляции (порезов, трещин или инородных включений и т.д.), так как в этом случае наблюдается резкое изменение геометрических параметров провода и электрических характеристик изоляции.

Таким образом, постоянство как электрических, так и геометрических параметров контролируется путем измерения погонной емкости провода.

Цель работы исследование влияний условий проведения входного и технологического контроля на результат погонной емкости провода.

Разработка метрологического обеспечения для измерителя емкости провода.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть нормативные документы регламентирующие порядок выходного контроля. Исследовать условия проведения выходного и технологического контроля.

Объектом исследования является погонная емкость одножильного электрического провода

Значимость работы: результаты работы позволят расширить номенклатуру приборов контроля в кабельной промышленности.

1 Классификация кабельных изделий

Кабельные изделия широко применяются в различных сферах. Без них невозможно представить современную жизнь: кабели используются для передачи и распределения электрической энергии, обеспечения телефонной и телеграфной связи, для радио- и телевидения, соединения различной электрической аппаратуры и т.д. Постоянно растет потребность кабельной продукции в энергетике, системах передачи информации, в различных областях науки и техники, а также в быту. Потребители кабельных изделий предъявляют все более высокие требования к их качеству. Качество кабельных изделий определяется соответствием требованиям стандартов и технических условий различных параметров: геометрических, электрических, физико-механических и прочих [6-7].

Кабельные изделия классифицируются по различным признакам [8]:

- По группам однородной продукции
- Составу конструктивных элементов
- Материалу изоляции
- Назначению
- Области применения

По составу конструктивных элементов делятся на электрические провода, электрические шнуры, электрические кабели.

По материалу изоляции кабельные изделия делятся на:

- Неизолированные провода
- Кабели и провода с бумажной изоляцией
- Кабели, провод, шнуры с пластмассовой изоляцией
- Кабели, провод, шнуры с резиновой изоляцией
- Эмалированные провода
- Провода и кабели с волокнистой и комбинированной изоляцией

По назначению кабельные изделия подразделяются на:

- Кабели и провода высокого напряжения

- Кабели, провода, шнуры с низким напряжением
- Кабели связи
- Радиочастотные провода
- Обмоточные провода

Постоянство емкости по всей длине изделия наиболее важно для кабелей связи.

Кабели связи используются для передачи информации, т.е. во всех видах проводной связи (телефонной, телевизионной, передаче данных и др.) как в аналоговой, так и в цифровой (импульсной) форме.

1.1 Погонная емкость провода

Качество, надежность и дальность связи зависят от электрических свойств кабелей. Электрические свойства кабелей связи определяются электрическими характеристиками, или электрическими параметрами. Электрические характеристики кабелей должны строго соответствовать установленным электрическим нормам.

Качество кабельных изделий определяет такая нормируемая величина как, погонная емкость C , Ф/м.

Емкость электрическая – это характеристика проводника, количественная мера его способности удерживать электрический заряд, равная отношению заряда q , Кл, накопленного проводником, к его потенциалу φ , В [9]:

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (1)$$

Емкость измеряется в фарадах (Ф) в системе СИ.

Емкость провода в значительной степени зависит от его геометрических размеров и электрических свойств изоляции. Поэтому изменение погонной емкости может свидетельствовать об отклонении геометрических параметров провода или электрических характеристик изоляции. Кроме того, резкое изменение емкости является показателем

наличия несплошностей в изоляции (трещин, порезов, инородных включений и т.д.), так как при этом наблюдается резкое изменение геометрических параметров провода и электрических характеристик изоляции.

Таким образом, постоянство как электрических, так и геометрических параметров можно контролировать, измеряя емкость провода.

Емкость одножильного электрического провода с металлическим экраном или оболочкой, а также емкость кабеля с отдельно экранированными жилами определяется по такой же формуле, как и емкость цилиндрического конденсатора, где одной из обкладок является электропроводящая жила провода, а другой – металлический экран (оболочка):

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}, \quad (2)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость изоляционного материала;

ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м;

l – длина провода, м;

D – диаметр изоляции, мм;

d – диаметр жилы, мм.

Из формулы (2) следует, что емкость провода определяется его геометрическими параметрами, его формой и электрическими свойствами материала диэлектрика (его диэлектрической проницаемостью ϵ) и не зависит от материала проводника. Емкость кабелей связи измеряется и нормируется в пФ или нФ [9].

Емкость относится к основным из нормируемых параметров кабелей. Расчет и измерение емкости при разработке, производстве и эксплуатации кабелей с целью оценок соответствия кабелей техническим требованиям, стабильности технологического процесса и состояния кабелей при хранении, монтаже и эксплуатации.

Изменение емкости провода может свидетельствовать об изменении геометрических параметров провода, о наличии дефектов и об изменении

свойств изоляции. Поэтому необходимо постоянно контролировать емкость провода [8-9].

Провода, кабели или другие кабельные изделия представляют собой протяженные изделия, длина которых в несколько раз больше его поперечных геометрических размеров.

Для изоляции кабелей, систем параллельных проводов и т.п. часто используют понятие удельной (погонной) емкости. *Погонная (удельная) емкость* – емкость, отнесенная к единице длины кабеля или провода [10]. Погонная емкость кабельного изделия измеряется и нормируется в пФ/м или нФ/км.

Способность материала образовывать емкость характеризуется относительной диэлектрической проницаемостью. *Относительная диэлектрическая проницаемость* – это безразмерная величина ϵ , характеризующая поляризацию диэлектриков под действием электрического поля. Диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух свободных зарядов в диэлектрике меньше, чем в вакууме [2].

1.2 Основные этапы производства провода

Как известно, изготовление кабельных изделий происходит сразу большой длины, исходя из этого практически все операции, связанные с кабелем, производятся при перематке кабеля с отдающего на приемное устройство; в процессе перематки на равномерно двигающуюся заготовку накладываются изоляция, оболочки, защитные покровы или производятся другие операции, связанные с кабелем.

Процесс изготовления кабельного изделия происходит в несколько технологических этапов на специально оборудованных станках. Для транспортировки изготовленной продукции используются катушки больших размеров или барабаны.

Процесс производства кабеля можно разделить на несколько этапов:

- поэтапное волочение и протяжка заготовки;
- наложение изоляции и оболочки;
- разбухтовка;
- отгрузка.

Общие виды двух цехов, в которых происходят основные этапы производства.

Цех волочения и скрутки стренги (прясть каната) (рисунок 1). Здесь происходит первичная обработка медной катанки, основного сырья для производства кабельно-проводниковой продукции (КПП).

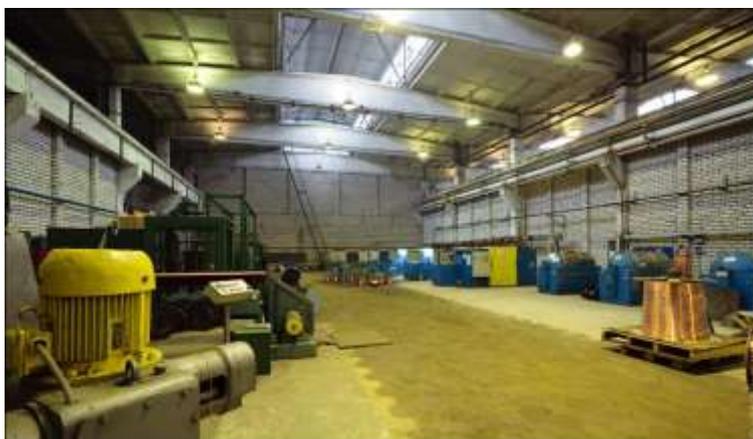


Рисунок 1 – Общие виды цехов волочения и скрутки стренги

Цех по наложению изоляции и оболочки. В этом цеху расположены экструзионные линии, где медные заготовки приобретают вид готового изделия.

Этапы производства.

На завод поступает медная катанка. Катанка — это грубая заготовка, обычно большого диаметра, которая используется для дальнейшего производства проволоки.

Машина грубого волочения (рисунок 2) предназначена для волочения медной катанки в проволоку.



Рисунок 2 – Машина грубого волочения

Двенадцати ручевая волочильная машина, предназначенная для тонко-среднего волочения медной проволоки в пасьму. Это заготовка для дальнейшей скрутки в стренгу. Это начало производства гибкого многожильного кабеля.



Рисунок 3 – Общий вид волочильного комплекса

В процессе волочения происходит нагартовка для ухудшения электропроводности проволоки. В ходе этого процесса наблюдается изменение пластических свойств металла. Происходят изменения в его структуре, составе, упрочнение. Далее нагревается металл до определенной температуры для снятия «наклепа» и получение мягкой проволоки. Проволоченная пасьма проходит через устройство «отжига на проход», которое позволяет экономить время, не используя отжиг в муфельной печи.



Рисунок 4 – Общий вид устройства «отжиг на проход»

После отжига, готовая пасьма наматывается на технологическую тару (рисунок 5). Укладка изделия происходит в результате смещения раскладчика вдоль оси приемной катушки за один ее оборот, равный

диаметру принимаемого изделия. По мере уменьшения числа оборотов приемной катушки уменьшается и скорость перемещения раскладчика.



Рисунок 5 – Механизм намотки пасьмы на технологическую тару

На следующем этапе пасьяма с нескольких активных отдатчиков подается в крутильную машину, где происходит скрутка пасьямы в стренгу, заготовку для производства проводов. Из отдельных проволок скручиваются токопроводящие жилы и неизолированные провода. Из изолированных жил скручиваются либо непосредственно кабели и провода.



Рисунок 6 – Общий вид крутильной машины

Перекрученные жилы наматываются на технологическую тару в готовую стренгу. Скрутка осуществляется в результате сочетания двух

движений: прямолинейного и вращательного. При этом вращение может производиться как по часовой стрелке, так и против нее. О направлении скрутки судят по расположению витков элементов в скрученном изделии.

Заготовка идет в машину скрутки стренги (рисунок 7), через пассивный отдатчик. Отдатчики различаются на пассивные и активные по принципу отдачи заготовки с барабана. Основная задача отдатчика обеспечить равномерное сматывание заготовки при постоянной скорости и натяжении.



Рисунок 7 – Машина скрутки стренги

Материал для нанесения изоляции и оболочки. Поливинилхлоридный пластикат, применяемый в кабельной промышленности.

Агрегат для наложения изоляции и оболочек из пластмасс состоит из экструдера, отдающего, тягового и приемного устройств, охлаждающей ванны, контрольной и пускорегулирующей аппаратуры. С отдающего устройства проволока, скрученная жила или заготовка под оболочку поступает в головку экструдера. Тормозное приспособление отдающего устройства служит для постоянного натяжения жилы и предотвращения раскрутки барабана или катушки с проволокой при остановке агрегата или уменьшении скорости экструзии. Сначала гранулы пластиката расплавляются в шнеке до однородной массы. Для лучшей адгезии и предотвращения образования на жиле воздушных включений, особенно при наложении полиэтиленовой изоляции, перед головкой экструдера

устанавливают устройство для подогрева жилы электрическим током через систему роликов, на которые подается необходимое напряжение. Нагретая до 100–150°С жила поступает в головку экструдера.



Рисунок 8 – Агрегат для наложения изоляции и оболочек из пластмасс

В головке экструдера расплавленная пластмасса выходит через кольцевой зазор между дорном и матрицей в виде оболочки и происходит наложение на провод.

Охлаждающая ванна, в которой находится водопроводная вода (рисунок 9), находящаяся за головкой экструдера, в которую попадает провод или кабель после наложения пластмассовой оболочки, должна иметь такую длину, чтобы при выбранном режиме охлаждения и скорости прессования изоляция или оболочка успевала по всей толщине охладиться до 60–70°С. Недостаточное охлаждение приводит к смещению жилы либо смятию изоляции и оболочки.



Рисунок 9 – Охлаждающая ванна с водопроводной водой

После охлаждающей ванны провод поступает в устройство для обдувки воды и сушки, затем в тяговое устройство и через компенсаторы подается на приемный вал. При наложении изоляции перед компенсатором или тяговым устройством устанавливают аппарат сухого испытания напряжением.

При изготовлении многожильного кабеля, отдельные изолированные жилы скручиваются. При скрутке без открутки происходит самопроизвольное дополнительное закручивание жилы вокруг собственной оси. Что приводит к деформации фазной изоляции и, в последствии, к образованию дополнительных дефектов в ней в виде морщин и вмятин. Особенно это явление заметно при скрутке жил большого сечения и при больших толщинах изоляции.

Скрутка предварительно подкрученных жил производится на обычных крутильных дисковых машинах, которые оборудуются специальным подкручивающим устройством. Часто это устройство совмещается с уплотняющим механизмом. Фазная изоляция накладывается на предварительно подкрученную жилу, поэтому после общей скрутки, которая производится с откруткой, качество фазной изоляции не ухудшается.

Скрученные жилы в дальнейшем поступают на экструзионную линию для нанесения общей изоляции.

После нанесения изоляции, кабель подается на разбухтовку. Здесь же он проходит отдел технического контроля (ОТК) и упаковывается [8 -9].

2 Контроль емкости при производстве провода

Согласно ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» [11] *качество продукции* – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям (производителя, заказчика, потребителя) проводится при проведении *контроля качества продукции* [11].

На кабельных заводах действует система технического контроля и управления качеством выпускаемой продукции. Основная задача технического контроля кабельного производства заключается в обеспечении уровня качества выпускаемой продукции в соответствии действующей нормативно-технической документацией [12].

Входной контроль заключается в проверке качества сырья, полуфабрикатов и вспомогательных материалов (электроизоляционные материалы, проводниковые материалы, металлы для оболочек и брони), поступающих на предприятие и используемых для производства [13]. Использование качественного сырья и материалов позволяет повысить качество производимой продукции.

Технологический (операционный) контроль проводится во время выполнения или после завершения технологической операции [13]. Технологический контроль заключается в проверке соблюдения технологических режимов, правил хранения и упаковки продукции между операциями. Технологический контроль является одним из видов предупредительного контроля, который направлен на предупреждение различных отклонений от нормального производственного процесса, для предотвращения появления дефектов на производимой продукции [14].

Выходной (приемочный) контроль – контроль качества готовой продукции. На выходном контроле устанавливается, соответствует ли

качество готовых изделий требованиям стандартов или технических условий, а также выявляются возможные дефекты готовой продукции. Если все условия выполнены, то продукцию можно реализовывать.

Технологический и выходной виды контроля взаимно дополняют друг друга, обеспечивая требуемое качество выпускаемой продукции [14].

2.1 Выходной контроль емкости провода

В настоящее время существуют стандарты, регламентирующие порядок только выходного контроля емкости провода [15-16]. На территории Российской Федерации действует ГОСТ 27893-88 «Кабели связи. Методы испытаний» [15], определяющий порядок проведения испытаний кабелей связи на соответствие различных параметров, в том числе и измерение емкости.

Для проведения выходного контроля емкости используется отрезок готового провода. Образец провода должен иметь длину не менее 5 м. Перед проведением измерений образец должен быть выдержан при нормальных климатических условиях не менее одного часа. Испытания проводятся в нормальных климатических условиях, соответствующих ГОСТу 20.57.406-81 «Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний» [17], если нормативно-техническая документация не требует другого. Нормальные климатические условия характеризуются следующими значениями климатических факторов:

- температура воздуха от 15 до 35 °С;
- относительная влажность воздуха от 45 до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа.

Рассматриваемый в данной работе одножильный электрический провод не имеет в своей конструкции металлической оболочки или экрана, поэтому для проведения измерения емкости образец провода помещается в

металлический заземленный бак, заполненный водой. Один конец образца присоединяется к измерительному прибору, второй остается свободным, не погруженным в воду. Электрическая емкость измеряется между жилой и водой. Если полученное в результате измерения значение емкости (погонной емкости) соответствует значениям, указанным в нормативно-технической документации на соответствующий тип провода, то провод считается выдержавшим испытание.

Составной частью измерительной системы при измерении емкости провода является вода, в которую погружается исследуемый образец провода. Отметим, что в ГОСТе 27893-88 ничего не сказано об используемой воде, о ее качестве, происхождении и температуре.

Более адаптированным в этом отношении является национальный стандарт США UL 1581 «Reference Standard for Electrical Wires, Cables, and Flexible Cords» [16], используемый в Америке, Европе и ряде других стран. По требованиям стандарта UL 1581 для измерения емкости изоляции провода используется водопроводная вода разной температуры ($30,0 \pm 1,0$) °С, ($75,0 \pm 1,0$) °С и ($90,0 \pm 1,0$) °С. Температура изоляции провода также должна иметь различную температуру: для первого случая – 60 °С, для второго – 75 °С, для третьего – 90 °С. Данные условия проведения контроля несколько приближены к условиям технологического процесса изготовления провода [8]. Недостатком стандарта UL 1581 является спорное усреднение результата измерения емкости при различных температурах используемой воды.

В статье [18-19] проведен анализ влияния изменения электропроводности воды на результаты измерения электропроводности воды на результаты измерения погонной емкости. Так же показано что изменение электропроводности воды за счет изменения солености приводит к значительному увеличению амплитуды тока: от 35% для больших значений C до 70% для малых значений. Соответственно измерение погонной емкости без учета влияния электропроводности воды приведет к значительной

погрешности результата измерения.

В связи с этим возникла задача провести исследование о влиянии изменения удельной электропроводности воды при выходном контроле погонной емкости в соответствии с ГОСТом 27893-88.

2.2 Технологический (операционный) контроль

Потребность обеспечения постоянства электрических и геометрических параметров по всей длине кабельного изделия приводит к необходимости осуществлять постоянный контроль емкости непосредственно в процессе производства. Емкость обуславливается характеристиками технологического процесса нанесения изоляции на токопроводящую жилу, поэтому контроль емкости целесообразно проводить в процессе экструзии.

Единственным вариантом реализации измерительного преобразователя для проведения контроля емкости провода на стадии нанесения изоляции является использование трубчатого электрода, погруженного вместе с контролируемым проводом в охлаждающую ванну экструзионной линии, в которую помещается провод сразу после нанесения изоляции [20].

3 Использование САР-10 для контроля емкости провода

3.1 Прибор для измерения емкости САР-10

Измеритель емкости САР-10 предназначен для контроля емкости одножильного провода непосредственно в процессе производства на стадии нанесения изоляции на токопроводящую жилу. Прибор обеспечивает измерение значения погонной емкости провода, сравнение измеренного значения с предельно допустимыми значениями емкости, осуществляет индикацию результата измерения, а также может создавать и хранить массив значений результатов измерения за заданный промежуток времени.

Основные технические характеристики измерителя емкости САР-10:

- объект контроля: одножильный изолированный провод;
- диапазон измеряемой погонной емкости: (50...500) пФ/м;
- наружный диаметр изоляции провода: (0,5...12) мм;
- максимально допустимая погрешность измерения погонной емкости 2,5 % от номинального значения в диапазоне изменения электропроводности воды эквивалентной изменению концентрации соли NaCl в диапазоне (0...4) г/л [21, 22].

САР-10 способен измерять текущее значение погонной емкости провода, осуществлять индикацию результата измерения и сравнение измеренного значения с предельно допустимыми значениями емкости. В случае отклонения текущего значения емкости провода от допустимого значения производится световая и звуковая сигнализация.

САР-10 состоит из электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП) и пульта отображения информации и допускового контроля БИ-1. Принцип действия измерителя емкости основан на измерении силы тока, по значению которой при известных амплитуде и частоте приложенного к электроду гармонического напряжения можно судить о значении емкости провода.

Значение погонной емкости контролируемого провода можно получить

при использовании линейной функции преобразования

$$C_n = C_0 + k \cdot I_x \text{ пФ/м}, \quad (3)$$

где C_0 и k – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, значения которых зависят от конструктивных параметров используемого преобразователя.

Внешний вид измерителя емкости САР-10 представлен на рисунке 13, а его структурная схема - на рисунке 14.

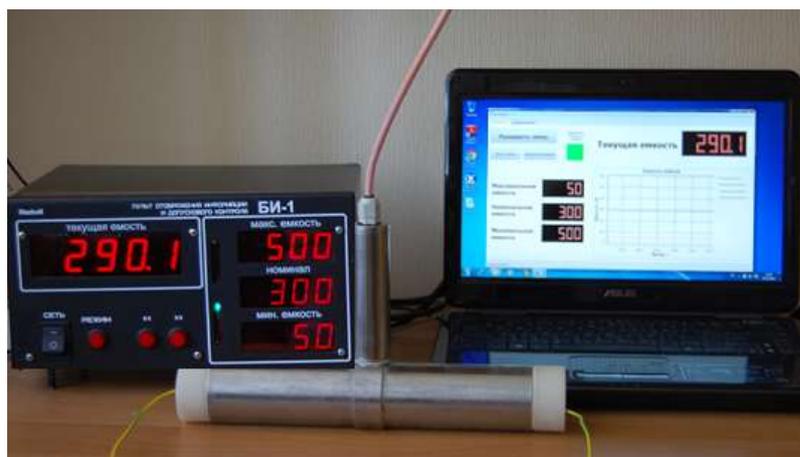
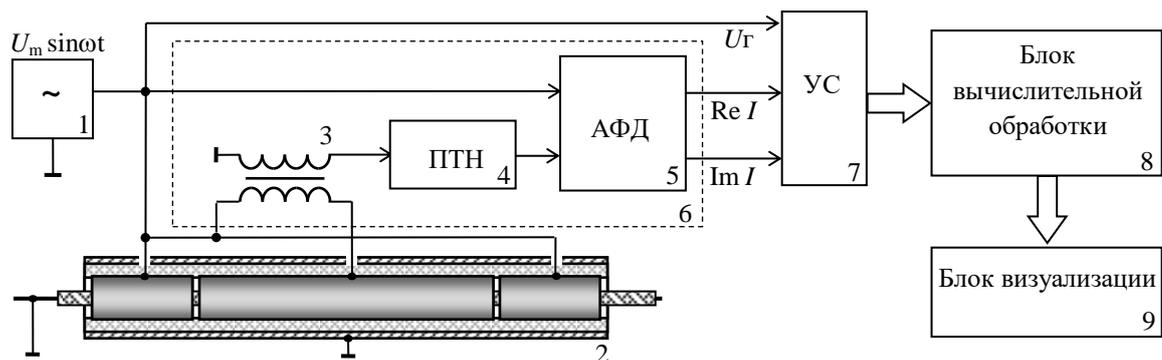


Рисунок 13 – Внешний вид измерителя емкости САР-10

На рисунке 14 приведена структурная схема измерителя емкости САР-10. САР-10 состоит из генератора 1 гармонического напряжения $U_m \sin \omega t$ с заданными амплитудой $U_m = 3,5 \text{ В}$ и угловой частотой $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ кГц}$, ЭЕИП 2, блока аналогового преобразования 6, устройства сопряжения 7, блока вычислительной обработки 8, блока визуализации 9.



1 – генератор; 2 – ЭЕИП; 3 – трансформатор тока; 4 – преобразователь ток-напряжение; 5 – амплитудно-фазовый детектор; 6 – блок аналогового преобразования; 7 – устройство сопряжения; 8 – блок вычислительной обработки сигнала; 9 – блок визуализации

Рисунок 14 – Структурная схема измерителя емкости CAP-10

Выходным сигналом электроемкостного измерительного преобразователя является ток I_x , мА, амплитуда тока пропорциональна значению, полученному при измерении емкости контролируемого провода. Этот выходной сигнал подается на вход блока аналогового преобразования сигнала 6, состоящего из трансформатора тока (ТТ) 3, преобразователя ток-напряжение (ПТН) 4, амплитудно-фазового детектора (АФД) 5. Трансформатор тока служит для гальванической развязки измерительной цепи электрода и схемы аналогового преобразования сигнала. С выхода трансформатора тока ток I_x , мА подается в преобразователь ток-напряжение для преобразования в напряжение и далее на вход амплитудно-фазовой детектор, в котором происходит выделение мнимой и действительных составляющих сигнала измерительной информации. Опорным сигналом АФД является напряжение генератора 1. Выходные напряжения АФД ($\text{Re } U$ и $\text{Im } U$), пропорциональны амплитудным значениям комплексных составляющих тока цепи измерительного электрода. Они подаются на входы устройства сопряжения (УС) 7. Устройство сопряжения представляет собой плату сбора данных. Плата представлена в качестве модуля USB3000 – универсальный скоростной восьмиканальный АЦП. УС осуществляет

преобразование аналогового сигнала в цифровой код и передачу его в персональный компьютер. Подключение модуля USB3000 к компьютеру ПК осуществляется через USB-порт компьютера.

Опорным сигналом АФД является напряжение генератора 6. Выходные напряжения АФД ($\text{Re } U$ и $\text{Im } U$), пропорциональные амплитудным значениям комплексных составляющих тока цепи измерительного электрода подаются в блок вычислительной обработки сигнала 7, который реализован на микроконтроллере. В блоке вычислительной обработки сигналов 7 осуществляется фильтрация, усреднение результатов измерения за 1 секунду и вычислительная обработка сигналов измерительной информации.

Блок визуализации 8 предназначен для представления измерительной информации в удобном для оператора виде. Для этого используется пульт отображения информации и допускового контроля БИ-1 представлена на рисунке 15.

Для записи массива данных погонной емкости за заданный интервал времени и визуализации измерительной информации используется персональный компьютер. Виртуальная лицевая панель измерителя емкости CAP-10 представлена на рисунке 15 [22].

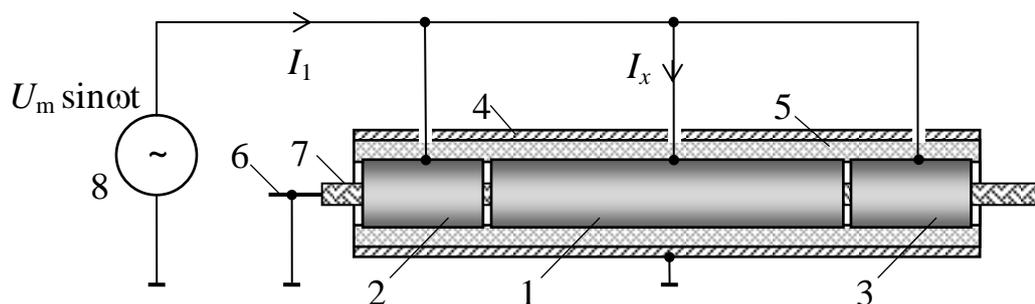


Рисунок 15 – Визуализация измерительной информации

3.2 Конструкция ЭЕИП

Электроемкостный измерительный преобразователь (ЭЕИП) является основным элементом измерителя емкости CAP-10, который предназначен для

технологического контроля погонной емкости одножильного провода. Конструкция ЭЕИП схематично представлена на рисунке 16.



1 – измерительный электрод; 2,3 – дополнительные электроды; 4 – корпус преобразователя; 5 – изолятор; 6 – токопроводящая жила; 7 – изоляция провода; 8 – генератор

Рисунок 16 – Конструкция электроемкостного измерительного преобразователя

ЭЕИП состоит из измерительного 1 и двух дополнительных 2 и 3 трубчатых электродов, которые располагаются внутри металлического корпуса 4 и изолированные от него слоем изоляционного материала 5. Контролируемый провод, состоящий из токопроводящей жилы 6 и изоляционной оболочки 7, непрерывно движется внутри электродов ЭЕИП, погруженного в воду ванны экструзионной линии, служащей для охлаждения нагретого во время нанесения изоляции провода. Электропроводящая жила провода и корпус преобразователя соединены с общей точкой (землей). Трубчатые электроды соединены с генератором 8 переменного напряжения [23].

3.3 Лицевая панель блока визуализации

Для визуализации измерительной информации используется пульт отображения информации и допускового контроля БИ-1, передняя панель которого представлена на рисунке 17. На панели располагаются цифровые светодиодные семисегментные индикаторы. Индикатор «Текущая емкость» 1 отображает результат измерения емкости контролируемого провода C_x , пФ/м. Также индикатор 1 используется для отображения пунктов сервисного меню,

используемого для изменения настроек измерителя емкости САР-10.1. В случае необходимости на индикаторе 1 выводятся сообщения об ошибках.



Рисунок 17 – Лицевая панель пульта отображения информации и допускового контроля БИ-1

Индикаторы 3-5 отображают соответственно максимальное, номинальное и минимальное значения емкости измеряемого провода в пФ/м. Оператор имеет возможность ввода номинальных и предельных значений для каждого вида кабельного изделия. Индикация выхода текущего значения емкости провода за допустимые значения производится светодиодной шкалой 2 и звуковым сигналом.

Навигация в сервисном меню и управление измерителем емкости осуществляется кнопками «<<<», «>>>» 6 и «РЕЖИМ» 7. Включение и выключение измерителя емкости выполняется тумблером «СЕТЬ» 8.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

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

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации, имеющие отношение к производству коаксиальных (радиочастотных) кабелей. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция.

Технология QuaD

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0.09	90	100	0.9	8.1
2. Помехоустойчивость	0.07	65	100	0.65	4.55
3. Надежность	0.09	95	100	0.95	8.55
4. Унифицированность	0.01	60	100	0.6	0.6
5. Уровень материалоемкости разработки	0.03	70	100	0.7	2.1
6. Уровень шума	0.07	87	100	0.87	6.09
7. Безопасность	0.079	84	100	0.84	6.64

8. Потребность в ресурсах памяти	0.001	98	100	0.98	0.098
9. Функциональная мощность	0.02	50	100	0.50	1
10. Простота эксплуатации	0.08	100	100	1	8
11. Ремонтопригодность	0.07	85	100	0.85	5.95
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
12. Конкурентоспособность продукта	0.1	69	100	0.69	6.9
13. Уровень проникновения на рынок	0.07	79	100	0.79	5.53
14. Перспективность рынка	0.055	91	100	0.91	5
15. Цена	0.08	74	100	0.74	5.92
16. Послепродажное обслуживание	0.025	68	100	0.68	1.7
17. Финансовая эффективность научной разработки	0.065	75	100	0.75	4.88
Итого	1				80.5

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{CP}} = \sum V_i \cdot B_i = 20.3 \quad (9)$$

где P_{CP} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

После расчёта средневзвешенного показателя, который составил 20.3, можно судить о том, что перспективность данного продукта крайне низкая. Необходимо повышать некоторые характеристики устройства.

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.

Таблица 2 – Морфологическая матрица для измерителя ёмкости кабеля

	1	2	3	4
А. Электрический сигнал	Ток	Напряжение	Частота	Фаза
Б. Источник питания	Сеть	Аккумулятор	Батарейки	
В. Способ монтажа элементов	Поверхностный монтаж	Пайка на весу	Вставка в панели	Пайка в отверстия
Г. Корпус	Сталь	Дюраль	Пластик	Дерево
Д. Управление	Автоматическое	Ручное	Комбинированное	
Е. Первичный преобразователь	Цифровой	Аналоговый	Комбинированный	

В ходе анализа данной матрицы, наиболее удачными вариантами являются:

A1B3B2Г1Д3Е3 – является самым дешёвым вариантом исполнения, т.к. монтаж элементов происходит на «весу», используются дешёвые материалы для корпуса. Также в роли источника питания выступают обычные батарейки типа АА, что значительно снижает цену на данное устройство.

A3B2B1Г2Д1Е1 - считается компактным вариантом устройства. Т.к. для изготовления будут применены SMD-компоненты, которые занимают очень малое количество пространства на плате и в корпусе. Применяемый вид элемента питания, так же даёт возможность изготавливать данный прибор не разборным (монолитным).

A2B1B4Г3Д2E2 - самый универсальный способ изготовления прибора. В нём применяются стандартные электронные компоненты и будет использоваться сеть в качестве источника питания.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 3 — Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	$t_{ожі}$	$T_{рі}$
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1.4	1.4
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	6.8	6.8
	3	Проведение патентных исследований	Руководитель	5.2	5.2
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	0.7	0.35
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1.2	1.2
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, студент	9.8	4.9
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент	29.8	29.8
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент	2.6	2.6
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент	0.7	0.35
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, студент	2.2	1.1

Проведение ОКР					
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель	3.8	3.8
	12	Выбор и расчет конструкции	Руководитель, студент	3.6	1.8
	13	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель	3.32	3.32
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	14	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Студент	32.6	32.6
	15	Лабораторные испытания макета	Студент	8.4	8.4
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	16	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент	12.6	12.6
	17	Оформление патента	Руководитель	9.8	9.8

Определение трудоемкости выполнения работ.

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях экспертным путем и носит вероятностный характер, зависящий от множества тяжело учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (10)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (11)$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Все рассчитанные данные были занесены в таблицу 4.

Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ обеспечивается полное и достоверное отражение всех расходов, необходимых для его исполнения.

Расчет материальных затрат НТИ.

Материальные затраты рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m Ц_i * N_{расxi} \quad (12)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м),		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Лампа УФ	шт.	0	1	1	0	350	350	0	402.5	402.5
Текстолит	шт.	0	1	1	0	150	150	0	172.5	172.5
Радио элементы	шт.	120	120	120	15	3	15	2070	414	2070
Припой	см	95	135	155	1	1	1	109.3	155.3	178.3
Фоторезистор	см ²	0	400	550	0	0.5	0.5	0	230	316.3
Эл. Энергия	Вт	95	450	130	1.5	1.5	1.5	163.9	776.3	224.3
Итого								2343	2543	3364

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

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

Приобретая спецоборудование учтем затраты для его доставки и монтажа в размере 15% от цены.

Таблица 5 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования,			Общая стоимость оборудования,		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		1	Осциллограф	1	1	1	15000	15000	15000	17250
2	Паяльная станция	1	1	1	2000	2000	2000	2300	2300	2300
3	Генератор	1	1	1	10000	10000	10000	11500	11500	11500
4	Источник питания	1	1	1	18000	18000	18000	20700	20700	20700
Итого:								51750	51750	51750

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет основной заработной платы

п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.- дн.			Заработная плата, руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
			1	Составление и утверждение проекта темы	Руководитель	2	2	2	3,6
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4	5	5	5
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4	5	5	5

4	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6	4	8	8
5	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6	8	8	8
6	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8	8,9	8,9	8,9
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	4	4,4	14,8	19,7	19,7
8	Изготовление рабочего образца	Студент	4	6	6	0,8	3,6	5,4	5,4
9	Снятие метрологических характеристик	Студент	2	3	4	0,8	1,8	2,7	3,6
10	Изучение результатов	Студент	2	3	3	0,8	1,8	2,7	2,7
11	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4	9,8	9,8	9,8
12	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8	2,7	2,7	2,7
Итого:							73,4	85,9	86,8

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (13)$$

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (14)$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (15)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 7 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

Накладные расходы.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{\text{нр}} \quad (16)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}} = 3745306,5 \cdot 0,16 = 599249,2$ руб.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Таблица 8 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НИИ	2852	2219,5	2135,5	Пункт 3.3.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	3629000	4550000	2330000	Пункт 3.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 3.3.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104	10212	Пункт 3.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 3.3.4
Накладные расходы	599249,2	747532,7	392182,64	16 % от
Бюджет затрат НИИ	4344555	5419612	2845459,6	Сумма ст. 1- 6

5.4 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:

$$I_{\text{финр}}^i = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (17)$$

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{4344555,7}{5419612,6} = 0,8; I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{5419612,6}{5419612,6} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{2845459,64}{5419612,6} = 0,52.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i \quad (18)$$

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 10.

Таблица 9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	5	5	4
2. Универсальность	0,2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости	0,15	4	4	5
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,20	5	5	4
5. Ремонтопригодность	0,1	5	5	5

6. Энергосбережение	0,15	4	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,15	3,8

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

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

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

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

$$I_{испi} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финр}} \quad (19)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,8} = 5,625; I_{исп2} = \frac{4,5}{1} = 4,5; I_{исп3} = \frac{4,55}{0,52} = 8,75.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. таблицу 11) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{испi}}{I_{испmax}} \quad (20)$$

Таблица 10 — Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,5	8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,64	0,51	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 [29].

Список публикаций студента

16 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК и 3 статей, индексируемых в базах Scopus, 2 золотых медали за разработку прибора САР-10. авторы: Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В., Мазиков С.В.

1. Диплом 2 степени Всероссийского конкурса выпускных квалификационных работ в рамках 4 Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее», 5-10 октября 2015 г., г.Томск, тема работы - «Исследование влияния условий контроля на точность измерения емкости кабеля»;

2. Устный доклад на тему «Влияние температуры воды на результат измерения емкости кабеля по ГОСТ 27893-88» на 6 Всероссийской конференции «Ресурсоэффективным технологиям-энергию и энтузиазм молодых», 22-24 апреля 2015 г., г. Томск (сертификат участника).

3. Устный доклад на тему «Определение действительного значения погонной емкости образцов провод» на Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее», 5-10 октября 2015 г., г. Томск (сертификат участника).

4. Устный доклад на тему «Первичные настройки измерителя САР-10.1» на 7 Студенческой научно-практической конференции «Приборостроение и информационные технологии», 10.12.2015 г., г. Омск (сертификат участника).

5. Устный доклад на тему «Измерение погонной емкости кабеля в соответствии с ГОСТ 27893-88 в условиях значительного изменения электропроводности воды» на 5 Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий

контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», 25-29 мая 2015 г., г. Томск (сертификат участника).

6. Устный доклад на тему «Влияние электропроводности воды на результат измерения емкости кабеля по ГОСТ 27893-88» на 5 Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационно-измерительная техника и технологии», 27-30 мая 2015 г., г. Томск (сертификат участника).

7. Научная разработка «Аппаратно-программный комплекс для измерения погонной емкости электрического одножильного провода», на 6 всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Информационно-измерительная техника и технологии» 27-30 мая 2015 года.

8. Золотая медаль в номинации «Измерительные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы»

9. Определение действительного значение погонной емкости образцов провода // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых: в 3 т., Томск, 5-10 Октября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 1 - С. 131-135, объем в печатных листах –0,5775

10. Особенности измерения емкости кабеля по ГОСТ 27893-88 // 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. 142-145, объем в печатных листах – 0,462

11. Измерение погонной емкости кабеля в соответствии с ГОСТ 27893-88 в условиях значительного изменения электропроводности воды // 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. 298-302, объем в печатных листах – 0,5775

12. Влияние температуры воды на результат измерения емкости кабеля по ГОСТ 27893-88 [Электронный ресурс] // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, Томск, 22-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 330-332. - Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C08/C08.pdf>, объем в печатных листах – 0,3465

13. « In-process Measuring of Capacitance Per Unit Length for Single-core Electric Wires», Journal of Physics: Conference Series Vol. 671 (2016) pp 1-6 III All-Russian Scientific and Practical Conference on Innovations in Non-Destructive Testing (SibTest 2015), 27–31 July 2015, Altai, Russia, объем в печатных листах – 0,693;

14. Первичная настройка измерителя САР-10.1 Приборостроение и информационные технологии: сборник научных трудов VIII Студенческой научно-практической конференции всероссийского уровня, г. Омск, 9-12 декабря 2015 г., с. 65-68, объем в печатных листах – 0,462;

15. Влияние электропроводности воды на результат измерения емкости кабеля по гост 27893 – 88, Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции с международным участием (27–30 мая 2015 г.), г. Томск, с. 69-72, объем в печатных листах – 0,462;

16. « Capacitance Control on the Wire Production Line», MATEC Web of Conferences, 7th Scientific Conference on Information-Measuring Equipment and Technologies, IME and T 2016; National Research Tomsk State University 36 Lenin Avenue Tomsk; Russian Federation; 25 May 2016 through 28 May 2016; Code 124242

17. « Improvement of the Quality of Water Purification from Hydrocarbons Using the Fibers from Recycled Thermoplastics », IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering, 4th International Conference on Modern Technologies for Non-Destructive Testing; Tomsk; Russian Federation; 5 October 2015 through 10 October 2015; Code 123846