

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

Инженерная школа энергетики

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧКИ ГИБКИХ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ</b>
УДК 621.315.211.049.7-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Хить Алиса Эдуардовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Основная часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Матери Татьяна Михайловна	-		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Инженерная школа энергетики  
Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ОЭЭ  
 \_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
 (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
5АМ6М	Хить Алисе Эдуардовне

Тема работы:

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧКИ ГИБКИХ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 11.01.2018 №45/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
------------------------------------------	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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>	<p>Литературные данные об устойчивости полимерных материалов к воздействию повышенных и пониженных температур, стандарты проведения испытаний, технические характеристики материалов, ГОСТы на соответствия требованиям.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор литературных источников в области процессов старения полимерных материалов при воздействии температур</li> <li>2. Разработка методики и плана-графика проведения испытаний</li> <li>3. Подготовка образцов и проведение испытаний</li> <li>4. Обработка и анализ результатов испытаний</li> <li>5. Формулировка выводов по результатам работы</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Графики зависимостей относительного удлинения, предела прочности от времени старения при повышенных температурах, от температуры</p>

	испытания при пониженных температурах
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Основная часть	Матери Татьяна Михайловна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Бородин Юрий Викторович
Раздел на иностранном языке	Федоринова Зоя Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Введение, методическая часть, обсуждение результатов, заключение	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Хить Алиса Эдуардовна		

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

Инженерная школа энергетики

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования магистр

Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения магистерской диссертации**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.2018	Рассмотрение конструкций гибких кабелей и используемых в них материалов	8
17.03.2018	Рассмотрение методик проведения теплового старения и испытаний физико-механических характеристик	12
26.03.2018	Выбор и подготовка образцов для испытаний	15
05.04.2018	Проведение испытаний физико-механических характеристик при воздействии повышенных и пониженных температур	15
20.04.2018	Обработка полученных в результате исследования данных	20
10.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.05.2018	Социальная ответственность	10
19.05.2018	Раздел, выполняемый на иностранном языке	10
28.05.2018	Выполненная магистерская диссертация	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н., профессор		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6М	Хить Алиса Эдуардовна

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	15 % доплаты и надбавки; 12-15 % дополнительная заработная плата; 30% районный коэффициент; 16% накладные расходы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30 % от ФОТ на 2018 год

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта; - расчет сметы затрат: - материальные затраты; - оплата труда; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT	
2. Диаграмма Ганта	
3. Бюджет проекта	
4. Оценка ресурсоэффективности	

### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Хить Алиса Эдуардовна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM6M	Хить Алиса Эдуардовна

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистратура</b>	<b>Направление</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

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

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> </ul> <p><i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p><i>Исследование резиновой оболочки на предмет стойкости к воздействию агрессивных сред осуществляется в исследовательской лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск».</i></p> <p><i>Описать рабочее место на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, микроклимат в помещении, шум, освещение рабочей зоны);</li> <li>- опасных проявлений (наличие факторов электрической природы, пожар);</li> <li>- чрезвычайных ситуаций (выброс больших количеств опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов)</li> </ul>
<p><i>1. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>ПТЭ, ПТБ</i></p>

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

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p><i>В данном разделе будет рассмотрено:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- методы устранения или уменьшения влияния рассматриваемого фактора</li> </ul>
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p><i>Данная глава посвящается изучению:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>- пожаро-, взрыво-безопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>
<p><i>3. Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p><i>Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- воздействия объекта на литосферу (отходы).</li> </ul> <p><i>Воздействие исследуемого материала на окружающую среду</i></p>

– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Защита в чрезвычайных ситуациях: наиболее вероятными ЧС при исследовании резиновой оболочки являются высвобождение в природную среду обитания больших количеств опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов: причины и ликвидация
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – требования к квалификации работника; – обеспечение работника индивидуальными средствами защиты
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	Расчет искусственного освещения для помещения

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Хить Алиса Эдуардовна		

## Реферат

Дипломная работа содержит 92 страницы текстового материала, 11 рисунков, 14 таблиц, 19 использованных источников. Таблицы и графики составлялись в графическо-расчетной программе ОС Windows Microsoft Excel, оформление текстового документа осуществлялось в программе ОС Windows Microsoft Word.

Перечень ключевых слов: изоляция, оболочка, надежность, шланговая резина, этиленпропиленовая резина, каучук, повышенная температура, пониженная температура, стойкость, предел прочности, относительное удлинение.

Тема: Исследование влияния эксплуатационных факторов на свойства изоляции и оболочки гибких кабельных изделий.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен литературный обзор по данной теме. В работе были рассмотрены следующие вопросы: понятие «надежности» гибких кабельных изделий, конструкция гибких кабелей, нормы и способы оценки стойкости кабельных полимерных материалов к воздействию температур, полимерные материалы в конструкции кабелей. Также были определены методики проведения старения полимеров и испытаний механических свойств, а также методика обработки результатов.

В результате проделанной работы были получены зависимости предела прочности и относительного удлинения при разрыве двух видов резиновой оболочки от времени старения при повышенной температуре, а также зависимости предела прочности и относительного удлинения при разрыве от пониженной температуры испытания. На основании полученных данных были сделаны выводы об изменении физико-механических характеристик резины, подвергшихся воздействию температур, и даны рекомендации по выбору марки резины для гибких кабельных изделий относительно диапазона рабочих температур.

## **Список сокращений**

ПА - полиамид;

ПВА - поливинилацетат;

ПВХ - поливинилхлорид;

ПК - поликарбонат;

ПП - полипропилен;

ПС - полистирол;

ПТФЭ - политетрафторэтилен;

ПЭ - полиэтилен;

ПЭНП - полиэтилен низкой плотности;

ТЭП – термоэластопласт;

ЭПР – этиленпропиленовая резина;

РШТМ – резина шланговая тепло- и морозостойкая.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	12
1. Обзор литературы .....	14
1.1 Основные понятия «надежности» кабельных изделий .....	14
1.2 Старение изоляции кабельных изделий .....	16
1.3 Гибкий кабель и особенности его конструкции .....	19
1.4 Условия эксплуатации и факторы, влияющие на надежность ГК.....	22
1.5 Методы испытаний гибких кабелей.....	29
2. Методическая часть .....	32
2.1 Методика проведения старения при повышенных температурах .....	32
2.2 Методика проведения испытаний механических свойств при повышенных температурах.....	33
2.3 Методика проведения испытаний механических свойств при пониженных температурах.....	34
2.4 Подготовка образцов .....	35
2.5 Методика статической обработки результатов эксперимента .....	37
3. Обсуждение результатов эксперимента .....	38
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	46
4.1 SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха ферросплавного завода.....	46
4.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	49
4.3 Составление сметы затрат на разработку ТП.....	54
4.4 Определение ресурсоэффективности проекта .....	58
5. Социальная ответственность .....	60
5.1 Анализ вредных факторов.....	61
5.2 Анализ опасных факторов.....	67
5.3 Охрана окружающей среды .....	71
5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях .....	72
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности..	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	76
Список используемой литературы .....	77
Приложение .....	79

## ВВЕДЕНИЕ

Гибкие кабельные изделия предназначены для эксплуатации в условиях возможных растяжений, изгибов и механических нагрузок, в том числе осложненных воздействием внешней среды. Основными требованиями для кабелей любого назначения являются надежность и безопасность эксплуатации. Однако в зависимости от условий эксплуатации к кабелям предъявляются дополнительно и особенные, специальные требования. Гибкие кабели, которые эксплуатируются на открытых пространствах, должны обеспечивать работоспособность при воздействии росы, тумана, пыли, холода. Особенно это касается эксплуатации кабеля в суровых климатических условиях Арктики. Помимо внешних воздействий сама эксплуатация подразумевает работу при повышенных температурах, обусловленных пропусканием тока нагрузки через кабель в течение длительного времени.

В связи с этим, возникает необходимость в производстве такого кабельного изделия, температурный диапазон которого будет отвечать, как требованиям эксплуатации в условиях экстремально низких температур, так и требованиям, касаемых высокой допустимой температуры нагрева токопроводящих жил.

В настоящее время происходит активное развитие изоляционных материалов для кабельной промышленности, которое дает возможность применять кабели в любых условиях эксплуатации. Развитие происходит не только в группе полиэтиленовой изоляции, но и в традиционной для кабельной промышленности – резиновой. В связи с этим, целью данной выпускной квалификационной работы является исследование влияния повышенных и пониженных температур на физико-механические свойства резиновых оболочек.

В свою очередь, основными задачами, которые необходимо будет решить, являются:

1. Изучение условий эксплуатации и факторов, влияющих на надежность гибких кабельных изделий.
2. Разработка методики и плана-графика испытаний, подготовка образцов.
3. Проведение термического старения кабелей с различным материалом оболочки (шланговая и этиленпропиленовая резина).
4. Проведение испытаний при воздействии пониженных температур.
5. Исследование зависимости скорости изменения физико-механических характеристик оболочки кабельного изделия от времени термического старения и типа резины.
6. Исследование зависимости изменения механических характеристик оболочки кабельного изделия от температуры эксплуатации (при пониженных температурах).
7. Разработка рекомендаций по выбору резиновых оболочек с широким диапазоном температур эксплуатации.

Для решения поставленных задач были выбраны в качестве объектов исследования резиновые оболочки марок РШТМ-2 (шланговая тепло- и морозостойкая) и ЭПР (этиленпропиленовая).

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Основные понятия «надежности» кабельных изделий

В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 под «надежностью» понимается свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. [1]

При разработке объекта предусматривают выполнение (или не выполнение) технического обслуживания объектов на протяжении срока их службы, т. е. объекты делят на технически обслуживаемые и технически необслуживаемые. Также происходит и деление объектов на ремонтируемые и неремонтируемые, которое связано с возможностью восстановления работоспособного состояния путем ремонта.

Кабельные изделия относятся к неремонтируемым изделиям, со сроком службы существенно превышающим срок службы других электротехнических изделий. [2] Такие электротехнические изделия, как кабели и провода, работают до первого отказа. Следовательно, основными показателями надежности являются временные показатели, такие как долговечность и срок службы. Под «долговечностью» понимают свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния. В свою очередь, «срок службы» является календарной продолжительностью эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния. [1]

Помимо временных показателей немаловажную роль при оценке показателей надежности кабельных изделий играет безотказность и сохраняемость:

- Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого

времени или наработки в заданных режимах и условиях применения. [1]

- Сохраняемость – свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования. [1]

Надежность, как свойство изделий, имеет свои количественные показатели, общая схема которых приведена на рисунке 1.

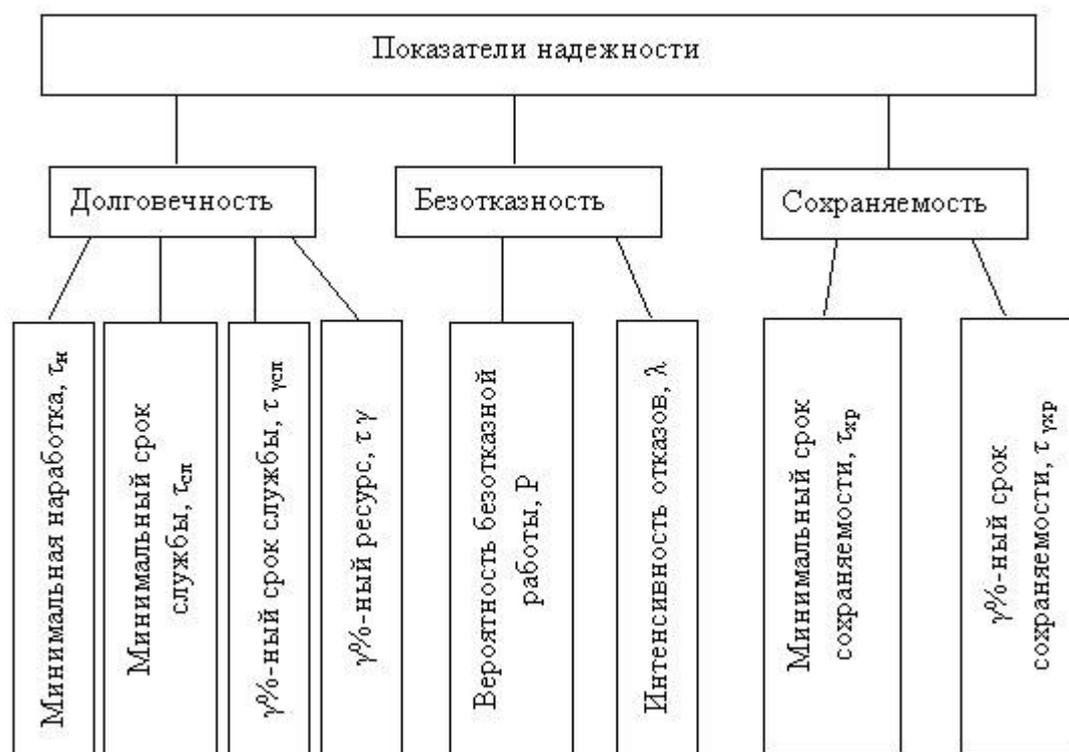


Рисунок 1 – Количественные показатели, используемые для оценки надежности кабельных изделий

При выборе кабельных изделий также следует учитывать еще два важных фактора:

1. Стойкость кабельного изделия к различным эксплуатационным воздействиям оценивается разработчиком кабеля (провода) по методам, являющимся в значительной мере условными и не совсем точно имитирующими реальные условия эксплуатации. И хотя, как правило, условия испытаний выбирают более жесткими, чем требования к

кабельным изделиям, однако для полной гарантии высокой надежности этих изделий необходимо проведение их натуральных испытаний в составе аппаратуры;

2. Проведение натуральных испытаний необходимо еще и потому, что в реальных условиях эксплуатации кабельные изделия, как правило, подвергаются не единичным, а комплексным воздействиям различных факторов, все многообразие которых невозможно учесть при проведении испытаний на стадии разработки проводов и кабелей.

## **1.2 Старение изоляции кабельных изделий**

В течение всего времени эксплуатации на кабель действуют факторы различной природы, которые влияют на конструктивные элементы этого кабельного изделия. Такие факторы приводят ко множеству физико-химических реакций, которые, в свою очередь, могут изменять строение, структуру и качество материалов. Одним из видов реакций, ухудшающих свойства полимерных материалов, являются реакции, которые ведут к распаду молекулярных цепей. Эти реакции возникают при воздействии таких внешних факторов как тепло, свет, различного рода излучения, кислород, озон, механических напряжений и др.

Под старением полимеров понимается комплекс химических и физических изменений, приводящих к ухудшению механических свойств и снижению работоспособности изделий из полимеров. В более широком смысле старением может быть названо всякое изменение молекулярной, надмолекулярной или фазовой структуры полимеров и полимерных материалов, приводящее к ухудшению физико-механических свойств в процессе хранения или эксплуатации изделий из полимеров. [7]

Старение полимеров, протекающее во времени, определяет характер изменения свойств материала. При этом внутренние изменения в полимерах зависят от самого материала (в частности, от качества исходных

компонентов), его свойств, структуры и технологии получения. Внешние же обусловлены характером окружающей среды и воздействием других материалов.

Старение различается по типу внешних воздействий. К ним относят световое, радиационное, термическое, химическое и механическое, а также биологическое виды старения. Это объясняется тем, что существует множество различных объектов внешнего воздействия. К таковым относятся свет, различного рода излучения, напряжения, температура, агрессивные среды.

Термическое старение полимеров происходит при нагревании полимера в бескислородной или любой другой агрессивной среде. Оно приводит к таким последствиям, как разрыв макромолекул, разрушение боковых групп, дегидратация, дегидрохлорирование и другие химические процессы. Также процесс может стать причиной распада полимера на мономеры или смесь мономеров с образованием других низкомолекулярных веществ.

Световое старение полимеров рассматривается как фотоокислительное старение, так как активное участие в реакциях принимает кислород. Это является причиной резкого увеличения скоростей фотопревращения полимера на воздухе по сравнению с превращением в бескислородной среде и к появлению новых реакций, которые влекут за собой значительное изменение свойств полимера.

Радиационное старение происходит при воздействии на полимеры гамма-лучей, альфа-частиц, нейтронов. Энергия таких излучений намного больше энергии химических связей в макромолекулах. При этом происходит «захват» полимером свободных радикалов и сосуществование полученной макромолекулы в течение продолжительного периода, который является разрушительным для полимера.

Механическое воздействие приводит к возникновению или исчезновению подвижности тех или иных фрагментов макромолекул и

изменению их свойств во времени, обусловленному достижением равновесного состояния. Такие воздействия могут быть, как последствием каких-либо внешних воздействий, так и в процессе изготовления материала и последующей его эксплуатации.

Химическое старение возникает при воздействии агрессивных сред, в которых находится в течение какого-либо продолжительного времени полимер. Такие среды в зависимости от характера взаимодействия с полимерами можно разделить на две группы: физически и химически активные. Первая группа агрессивных сред вызывает обратимые изменения полимера, которые не сопровождаются разрушением химических связей макромолекул полимера (например, набухание, растворение). Такими средами являются химически инертные углеводороды и некоторые их производные, используемые в качестве растворителей, масел, топлив и т. д. Вторая группа агрессивных сред вызывает необратимые изменения, которые сопровождаются изменением химической структуры полимера. К таким средам относят среды сильных окислителей (перекись водорода, азотная кислота), минеральных кислот (серная, соляная и др.), галогенов (фтор, хлор), щелочей и водных растворов солей.

Биологическое старение представляет собой воздействие внешней среды, которое приводит к обрастанию полимеров грибами, бактериями и другими микро- и макроорганизмами, а также к воздействию химически активных веществ, выделяемых живыми организмами.

Все вышеперечисленные виды старения полимеров в значительной мере влияют на срок службы эксплуатируемого кабельного изделия. Поэтому для уменьшения или устранения вредного влияния старения полимеров были разработаны различные способы стабилизации полимеров.

### 1.3 Гибкий кабель и особенности его конструкции

Кабель КГ – гибкий силовой кабель (ГК) с медными токопроводящими проводниками, изоляция и оболочка кабеля изготовлены из резины. Данный кабель устойчив к воздействию солнечных лучей. Повышенная гибкость кабеля достигается за счет многопроволочных медных жил не менее 5 класса гибкости, а также за счет использования резиновой оболочки и изоляции. Кабели с резиновой изоляцией гибкие общего назначения изготавливаются согласно ГОСТ-13497-77.

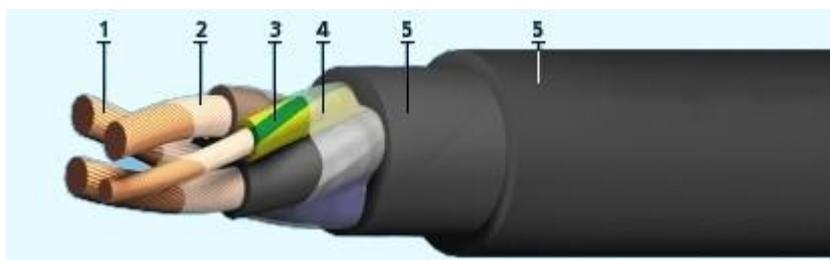


Рисунок 2 – Конструктивные элементы КГ

Конструкция силового кабеля КГ выглядит следующим образом:

1. Токопроводящая жила класс гибкости не менее 5;
2. Обмотка;
3. Изоляция;
4. Обмотка;
5. Наружная оболочка.

В изготовлении силовых кабелей первое место среди материалов занимает электротехническая медь, которую получают в процессе электролитического рафинирования. Данный процесс недешев, однако именно он дает наиболее качественный проводник. Из шести классов токопроводящих жил, на которые согласно ГОСТу 22483-2012 подразделяется данная продукция, лишь медь подходит для применения в изделиях всех классов, в том числе в кабелях повышенной гибкости. Для изготовления гибких кабелей используется также луженая медь. Такая проволока отличается еще большей защищенностью от любых внешних воздействий, чем обычная проволока из меди. В качестве материала для

лужения используется чистое олово или оловянно-свинцовый сплав, так как именно олово предохраняет проволоку от различных коррозионных процессов, придавая ей при этом дополнительную прочность на разрыв и исключая возможность слома проволоки при ее перегибе. Производители выпускают две разновидности луженой проволоки: мягкая луженая и твердая луженая. Основное отличие этих типов проволоки друг от друга состоит в их способности к изгибам – мягкая проволока легче перегибается, чем твердый образец аналогичного диаметра.

Следующим конструктивным элементом является обмотка из полиэтилентерефталатной пленки (ПЭТ-Э) – позиция 2 и 4. Полиэтилентерефталат является сложным термопластичным полиэфиром терефталевой кислоты и этиленгликоля. По физическим параметрам представляет собой твердое вещество белого цвета, не обладающее запахом. Пленка ПЭТ-Э выпускается в соответствии с требованиями ГОСТ 24234-80 путем моментального охлаждения расплавленного пластика от  $+2600^{\circ}\text{C}$  до  $+730^{\circ}\text{C}$  и растягивания его до необходимой толщины. Благодаря этому материал становится абсолютно прозрачным и блестящим. Для производства кабеля, пленка реализуется в рулонах и имеет различные размеры: шириной от 0,6 до 150 см, толщиной от 8 до 250 мкм. Основными характеристиками такой пленки являются: эластичность и высокая степень растяжения, благодаря чему пленка плотно стягивает провода и кабеля, предотвращая их от повреждения при изгибании во время монтажных работ; высокие диэлектрические свойства, что является дополнительной защитой в качестве электроизоляции; термостойкость, благодаря чему поверх пленки можно наносить другие синтетические материалы путем горячего расплава; высокая прочность и устойчивость к внешним химическим воздействиям и физическим свойствам, что предохраняет кабеля от влаги, окисления и механических повреждений; также обладает легкостью и не утяжеляет обмотки кабелей.

Поверх пленки накладывается изоляция. Толщина резиновой, полиэтиленовой, поливинилхлоридной или полимерной изоляции, накладываемой сверху на токопроводящие жилы, определяется соответствующими государственными стандартами (ГОСТ 23286-78). Изолирующий слой может быть представлен следующими материалами:

- Поливинилхлоридный пластикат (ПВХ). Самый распространенный вид изоляции, который при комнатной температуре (+20°C) обладает высокими сопротивлением. Недостатками ПВХ пластиката является недостаточно хорошая гибкость, если сравнивать с резиной и тот факт, что при температуре +70°C и выше значительно снижается сопротивление изоляции провода. Достоинства поливинилхлоридного пластиката: невысокая цена, хорошая устойчивость к множеству химических реагентов, влаги, а также низкий уровень горючести.

- Сшитый полиэтилен (СПЭ). Используется для изготовления высоковольтной кабельной продукции, прокладываемой подземным способом. Конструкция кабелей из сшитого полиэтилена обладает хорошей гибкостью, низкой гигроскопичностью (поглощение влаги) и возможностью нагрева до +130°C. Недостатки СПЭ-кабелей — сложность изготовления, необходимость использования зарубежного оборудования, из-за чего стоимость изделия значительно выше аналогов.

- Полиэтилен. Может быть низкой плотности (ПЭНП) и высокой (ПЭВП). Достоинства: диэлектрические свойства в 300 раз выше нежели у ПВХ изоляции, низкая гигроскопичность, устойчивость к химическим реагентам. Однако минусами полиэтилена являются снижение диэлектрических свойств провода при повышении температуры, слабая гибкость и в то же время высокая стоимость. Конструкция кабелей с изоляцией из полиэтилена хорошо себя зарекомендовала для прокладки стационарной проводки на промышленных объектах.

- Электроизоляционная резина. Благодаря своей гибкости чаще всего используется для подключения передвижных механизмов и оборудования. Гибкая, дешевая, обладает высокими диэлектрическими свойствами. Однако теряет свои электроизоляционные характеристики при температуре выше  $+80^{\circ}\text{C}$ , подвержена повреждению от ультрафиолетового излучения и что самое опасное — не устойчива к горению.

- Политетрафторэтилен (ПТФЭ). Фторопласт отличается очень высокой химической, коррозионной стойкостью, а также обладает отличной атмосферостойкостью, теплостойкостью и морозостойкостью ( $-160 \div 260^{\circ}\text{C}$ ). Фторопласт негорюч или самозатухает при возгорании. Такой полимер имеет низкий коэффициент трения, очень низкое водопоглощение и газопроницаемость, хорошие диэлектрические характеристики и высокую электрическую прочность, надежно противостоит ферментам и микробам. Также ПТФЭ плохо растворимы или вообще нерастворимы во многих органических растворителях. Минусы такого типа защиты — высокая стоимость и токсичность.

Для изготовления наружной оболочки гибких кабелей используется специальная шланговая резина, поливинилхлоридный пластикат, полимерные композиции, полиуретан или полиэтилен. Изолирующие материалы, используемые при производстве кабеля, подбираются в зависимости от условий его эксплуатации и должны соответствовать требованиям ГОСТ 31565-2012.

#### **1.4 Условия эксплуатации и факторы, влияющие на надежность ГК**

Данный проводник предназначен для подключения к сети передвижных механизмов. Его можно использовать для прокладки, как в закрытых помещениях, так и на улице. Применение электрокабеля для стационарного подключения установок не допускается, в том числе и его

прокладка под землей. Это связано с тем, что изоляция проводника не способна выдержать механические нагрузки, и может быть повреждена даже при давлении твердых грунтов. Также допускается монтировать кабельную линию на открытом воздухе на тросах и эстакадах при соблюдении всех мер безопасности.

Преимущественная область применения кабеля КГ: при изгибах с радиусом не менее  $8D$  и температуре от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 1 – Условия эксплуатации и технические характеристики КГ

<b>Характеристика</b>	<b>Величина</b>
Температура окружающей среды	от $-40$ до $+50^{\circ}\text{C}$
Номинальное переменное напряжение частоты 50 Гц	0,66 кВ
Максимальное переменное напряжение частоты 50 Гц	0,72 кВ
Испытательное переменное напряжение частоты 50 Гц в течении 5 минут	3,00 кВ
Рабочее напряжение, при переменном токе при частоте до 400 Гц	660 В
Рабочее напряжение, при постоянном токе	1000 В
Максимальная температура на жиле	$75^{\circ}\text{C}$
Радиус изгиба кабеля	не менее 8 наружных диаметров
Относительная влажность воздуха (при температуре $+35^{\circ}\text{C}$ )	98%
Минимальная температура прокладки кабеля без предварительного подогрева	$-15^{\circ}\text{C}$
Максимальная температура нагрева жил при коротком замыкании	$200^{\circ}\text{C}$ (1 сек.)
Количество циклов короткого замыкания	Не более 10
Электрическое сопротивление изоляции	не менее 100 МОм·км
Растягивающее усилие кабелей на 1 кв.мм суммарного сечения всех жил	не более 19,6 (Н)
Строительная длина, сечение до 35 кв.мм	150 м
Строительная длина, сечение более 35 кв.мм	125 м
Гарантийный срок эксплуатации	6 месяцев
Минимальный срок эксплуатации	4 года

Основные сферы эксплуатации кабеля КГ:

- на реках,
- на озерах,
- на суше,

- на открытом воздухе,
- в помещениях,
- на судах речного флота,
- в районах с умеренным климатом,
- в районах с холодным климатом,
- в районах с тропическим климатом.

Во всех механизмах, применяемых на любом производстве, используются кабельные изделия. В зависимости от условий эксплуатации этих механизмов выдвигаются те или иные требования к характеристикам материалов, из которых изготавливается кабельное изделие. Например, для кабелей, применяемых в условиях Арктики и Крайнего Севера, необходимым требованием является морозостойкость изоляционных материалов; для кабелей, используемых в нефтедобывающей промышленности и других отраслях, где кабель подвержен контакту с углеводородными жидкостями, выдвигается требование к высокой химической стойкости и т.д.

Под морозостойкостью следует понимать способность полимерного материала сохранять свои свойства при низких температурах. Так, например, для стеклообразных полимеров – это отсутствие хрупкости, для эластомеров – она означает сохранение эластичности. На практике морозостойкость выражается также способностью полимера выдерживать без растрескивания разовое охлаждение до заданной температуры в течение определенного времени или многократные циклы охлаждения или нагревания. [3]

Для примера можно рассмотреть пределы температур наиболее популярных полимерных материалов, используемых в кабельной промышленности (табл. 2).

Таблица 2 – Значения морозостойкости некоторых полимеров

Полимеры	Морозостойкость, т.е. пределы рабочих температур, °С	
	Верхний	нижний
Полиимиды	-210	-190
ПТФЭ	-200	-180
ПК	-145	-130
ПЭВП	-130	-75
ПЭНП	-120	-75
Полисульфон	-110	-90
Каучук бутадиеновый	-100	-80
Полифениленоксид	-90	-70
Фенилон	-100	-65
ПА	-75	-40
ПБТ	-70	-55
ПЭТ	-70	-55
ПММА	-70	-55
Кремнийорганопласты	-70	-55
Полифениленоксид	-70	-55
Каучук натуральный	-70	-50
Сополимеры САН	-60	-40
Сополимеры формальдегида	-50	-40
ПУ	-60	-40
Фенопласты	-60	-40
ПС	-60	-40
Пластифицированный ПВХ	-50	-25
АБС-пластики	-90	-80
ПВХ	-25	-10
ПП	-20	-10
Полиэфирные смолы	-40	0

Как видно из таблицы, химическое строение, а также физическое состояние полимерного материала может существенно сказываться на показателях морозостойкости материалов.

К морозостойким относят полимерные материалы, которые могут эксплуатироваться при минимальных зимних температурах, характерных для территории России: от -40 до -50°С. Однако, для использования кабельных изделий в условиях Арктики и Крайнего Севера, этот диапазон температур недостаточен, так как минимальные температуры в данных районах могут достигать -60°С.

Существующие в настоящее время пути повышения морозостойкости за счет разработки принципиально новых полимерных материалов и создания

композиционных материалов с использованием новых эффективных ингредиентов резиновых смесей и новых их сочетаний позволили значительно расширить температурные границы применения полимеров. [4]

Наилучшую морозостойкость полимерным композициям из промышленных пластификаторов придают эфиры алифатических дикарбоновых кислот (азелаиновой, адипиновой, себаценовой), промежуточное положение занимают эфиры офталевой кислоты и наименьшую морозостойкость придают полимерам арильные производные ортофосфорной кислоты и полиэфирные пластификаторы.

Также кабельные изделия часто подвержены воздействию химически агрессивных сред, таких как топливо, масла, кислоты и щелочи. Наиболее важными физико-химическими процессами при взаимодействии полимеров с агрессивными средами являются:

- 1) адсорбция компонентов агрессивной среды на поверхности полимера;
- 2) диффузия агрессивной среды в объём полимера;
- 3) химические реакции агрессивной среды с химически нестойкими связями полимера;
- 4) диффузия продуктов реакции к поверхности полимера;
- 5) десорбция продуктов реакции с поверхности полимера.

Вышеназванные процессы могут вызывать набухание (изменение массы и геометрических размеров), структурные изменения, а также физико-химические свойства (относительное удлинение и прочность при разрыве) полимерных материалов, которые определяют химостойкость кабельных изделий в целом. Набухание представляет собой процесс поглощения, или сорбции низкомолекулярных жидкостей (или их паров) полимером. При набухании молекулы низкомолекулярной жидкости (или ее пара) проникают между элементами структуры полимера, вызывая межструктурное набухание, или внутрь структур, раздвигая макромолекулы (внутриструктурное набухание), при этом увеличивая его массу, объём и изменяя структуры. Такие изменения структуры и свойств могут как

сопровождаться разрушением полимера, так и происходить без нарушения целостности полимерного материала.

Сравнительная химическая стойкость полимерных материалов в различных агрессивных средах представителей полимерных материалов представлена в таблице 3, где первая цифра означает холодные среды, вторая – горячие среды.

Таблица 3 – Стойкость полимерных материалов

Материалы	Кислоты средней концентрации	Растворы солей	Растворы щелочей	Минеральные масла
ПЭ	5/5	5/5	5/5	4/2
ПП	5/5	5/5	5/5	5/4
ПВХ	5/4	5/4	5/4	5/4
ПС	1/1	5/4	4/-	5/4
ПФА	2/1	5/4	5/4	5/4
ПА	5/-	5/-	1/1	5/-
ПК	5/4	5/4	5/4	5/4
Фурановые	4/3	5/5	5/4	5/4
ЭС	5/5	5/4	5/4	5/4
Фаолит	5/5	5/5	1/1	5/5
Антегмит	5/5	5/5	2/1	5/5

В процессе эксплуатации помимо факторов, связанных с природными условиями и внешней средой, в которой эксплуатируется изделие, кабели подвергаются различного рода механическим нагрузкам. В результате этого может произойти необратимая деформация кабелей, приводящая к ухудшению его электрических характеристик.

Виды воздействий в зависимости от условий эксплуатации должны быть указаны в технических условиях на конкретные гибкие кабели. [5]

- Кабели должны быть стойкими к изгибам;
- Кабели должны быть стойкими к осевому кручению;
- Кабели должны быть стойкими к многократным перегибам через систему роликов;
- Кабели должны выдерживать растягивающее усилие не менее 49,0 Н (5,0 кгс) на 1 мм: кабели с упрочняющими элементами в конструкции должны иметь разрывную прочность не менее 490 Н (500 кг).

Число циклов изгиба и осевого кручения, угол изгиба и закручивания, диаметр роликов и растягивающая нагрузка в кабеле в зависимости от типа кабеля должны быть выбраны из следующих рядов значений и указаны в технических условиях на кабели конкретных марок (табл. 4).

Таблица 4 – Требования стойкости к механическим воздействиям

	<b>Изгиб</b>	<b>Осевое кручение</b>	<b>Множественные перегибы через систему роликов</b>
<b>Число циклов</b>	3000, 4000, 5000, 6000, 10000, 15000, 20000, 22000, 25000, 28000, 35000	1500, 2000, 4000, 5000, 6000, 10000, 15000, 20000, 22000, 25000, 28000, 35000	7000, 10000, 14000, 15000, 20000, 40000
<b>Угол изгиба, закручивания, град</b>	±90, ±180, ±270	±90, ±180, ±360	±180
<b>Номинальный диаметр роликов, мм</b>	100, 200, 250, 300, 400, 500, 600	-	200, 300, 400, 500, 600
<b>Номинальная растягивающая нагрузка в кабеле, Н</b>	25, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 800, 1000	50, 100, 200, 300, 400, 450, 500	500, 800, 1000, 1500, 2000, 3000

Электрическая нагрузка на кабель определяется величиной электрического тока. Если электрический ток будет протекать по проводнику в течение длительного времени, в этом случае установится определенная стабильная температура данного проводника, при условии неизменной внешней среды. Величины токов, при которых температура достигает максимального значения, в электротехнике известны как длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей. Данные величины соответствуют определенным маркам проводов и кабелей. Длительно допустимый ток для гибких кабелей и проводов с резиновой изоляцией приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Длительно допустимый ток для гибких кабелей и проводов с резиновой изоляцией, А

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Одножильные	Двухжильные	Трёхжильные
0,5	-	12	-
0,75	-	16	14
1,0	-	18	16
1,5	-	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

Указанные значения токов приведены для температур окружающего воздуха +25 °С и земли +15 °С для усредненных условий прокладки.

В случае необходимости выбора конкретной токовой нагрузки для конкретного типа кабеля необходимо руководствоваться методиками, указанными в стандартах и правилах на это кабельное изделие.

### 1.5 Методы испытаний гибких кабелей

Гибкие кабели, которые эксплуатируются в полевых условиях, должны обеспечивать работоспособность при воздействии росы, тумана, пыли, холода.

Специальные кабели для подъёмных и конвейерных механизмов также должны обладать специальными свойствами, которые учитывают область их применения. Эти кабели предназначены для присоединения передвижных механизмов, работающих в условиях изгиба при постоянно действующем растягивающем усилии.

Согласно ГОСТ 31945-2012 гибкие кабели подвергаются не реже одного раза в год следующим видам периодических испытаний:

- На возникновение и прекращение частичных разрядов экранированных основных жил:

Испытание на возникновение и прекращение частичных разрядов проводят по ГОСТ 20074 и ГОСТ 2990 на образцах длиной не менее 1,5 м.

- На стойкость к изгибу:

Испытание кабелей на стойкость к изгибу проводят по ГОСТ 12182.8 на образцах длиной не менее 1,5 м.

- На изгиб с кручением:

Испытание шнуров на стойкость к изгибу с кручением проводят по ГОСТ 24471.

- На стойкость к многократным перегибам через систему роликов:

Испытание кабелей на стойкость к многократному перегибу через систему роликов проводят по ГОСТ 12182.1. Длина образцов должна быть указана в технических условиях на кабели конкретных марок.

- На стойкость к воздействию повышенной температуры окружающей среды:

Испытание кабелей или шнуров на стойкость к воздействию длительно допустимой температуры на токопроводящих жилах и повышенной температуры окружающей среды проводят по ГОСТ 16962.1 на трех образцах кабеля или шнура. Метод проведения испытания, длина образцов, время выдержки образцов в камере тепла или под токовой нагрузкой и время выдержки образцов в нормальных климатических условиях до и после проведения испытания должны быть указаны в ТУ на конкретные марки кабеля.

- На стойкость к воздействию пониженной температуры окружающей среды:

Испытание кабелей или шнуров на стойкость к воздействию пониженной температуры окружающей среды проводят по ГОСТ 17491 (метод испытания на изгиб при отрицательных температурах) на трех

образцах кабеля или шнура. Диаметр стержня или роликов, используемых при испытании, должен быть указан в технических условиях на кабели или шнуры конкретных марок.

- Изоляции на озоностойкость:

Испытание изоляции кабелей на озоностойкость проводят по ГОСТ ИЕС 60811-2-1 при концентрации озона  $(0,0150 \pm 0,0015)\%$  объемных и деформации растяжения  $(20 \pm 1)\%$ . Температура проведения испытания –  $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Время выдержки образцов в испытательной камере – не менее 3 ч.

- Стойкости оболочки к воздействию смазочных масел, щелочных электролитов и жирных кислот:

Стойкость оболочек к воздействию агрессивных жидкостей проверяют по ГОСТ ИЕС 60811-2-1, по ГОСТ 9.030 (метод А) или по ГОСТ 12020, к воздействию жирных кислот по специальной методике, изложенной в ГОСТ 31945-2012.

- На нераспространение горения:

Испытание на нераспространение горения проводят по ГОСТ ИЕС 60332-2-1, ГОСТ ИЕС 60332-2-2 или ГОСТ ИЕС 60332-1-1, ГОСТ ИЕС 60332-1-2, ГОСТ ИЕС 60332-1-3.

Допускается проводить в составе периодических испытаний другие виды испытаний или проверок, которые должны быть указаны в ТУ на конкретные марки кабелей.

Все испытания и измерения проводят в нормальных климатических условиях по ГОСТ 15150, если иное не указано при изложении конкретного метода.

## 2. Методическая часть

### 2.1 Методика проведения старения при повышенных температурах

Старение полимеров под воздействием повышенных температур в лабораторных условиях проводится согласно международному стандарту ГОСТ ИЕС 60811-1-2-2011. В настоящем стандарте приведены методы теплового старения эластомерных, из поливинилхлоридного пластиката, полиэтилена, полипропилена и т.д. полимерных композиций для изоляции и оболочек.

Для проведения испытаний были отобраны образцы резиновой оболочки из трех разных мест без механических повреждений, загрязнений и прочих дефектов, видимых без увеличительных приборов. Также с момента изготовления кабельного изделия, чья оболочка подвергается старению, прошло более 16 часов.

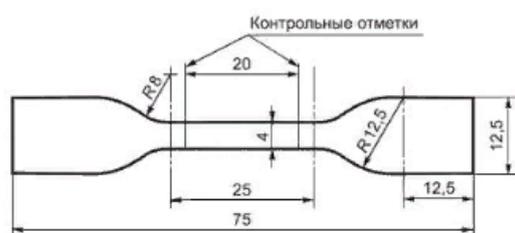


Рисунок 3 – Образец в виде двухсторонней лопатки

Для старения и дальнейших испытаний по определению механических свойств резиновой оболочки после влияния такого эксплуатационного фактора, как повышенные температуры, из каждого отрезка исследуемого материала кабеля подготовлены по пять образцов в виде двусторонних лопаток, вырезанных вдоль оси кабеля, провода или шнура (рис.3). Толщина образцов-лопаток, изготовленных из оболочки, не превышает 2,0 мм и не менее 0,8 мм.

Методика проведения старения заключается в выдержке подготовленных образцов резиновой оболочки в температурной камере. Пять испытуемых образцов подвешиваются вертикально и преимущественно в середине термостата на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. Затем

выдерживаются в камере в течение 320 часов. В качестве испытательных температур, при которых проводится старение, выбраны +110, +130, +150°С.

После старения образцы извлекаются из термостата и выдерживаются при температуре окружающей среды, избегая воздействия прямых солнечных лучей, не менее 16ч.

## **2.2 Методика проведения испытаний механических свойств при повышенных температурах**

Стойкость материалов, являющихся сырьем для производства кабельного изделия, к старению определяет срок службы готового изделия. Процесс старения таких вязкоупругих материалов, как полимеров, носит необратимый характер. Скорость старения зависит от чувствительности материала к воздействию повышенных температур в процессе эксплуатации. Результатом физико-химических процессов является ухудшение механических свойств материала. Поэтому для оценки надежности готового кабельного изделия проводится анализ изменения характеристик материала, подверженного воздействию повышенных температур.

Испытания механических свойств полимеров в лабораторных условиях проводится согласно межгосударственному стандарту ГОСТ ИЕС 60811-501-2015. Предлагаемый стандарт рассматривает методы испытаний для определения механических свойств сшитых и термопластичных композиций изоляции и оболочек.

Такого рода испытания позволяют определить прочность при разрыве и относительное удлинение при разрыве материала оболочки кабельного изделия, как в исходном состоянии (до какого-либо старения), так и при одном или нескольких видах ускоренного теплового старения.

В качестве оборудования для проведения испытаний используется двухколонная испытательная машина марки INSTRON серии 3365 (рис. 4).



Рисунок 4 – Испытательная машина

Настольные системы с двумя колоннами серии 3365 идеально подходят для испытаний на растяжение и/или сжатие при нагрузке ниже 50 кН.

Основные характеристики INSTRON 3365:

- Точность нагружения 0,5% от указанной нагрузки;
- Частота регистрации данных 500 Гц;
- Полное программное управление;
- Сенсорная панель управления;
- Автоматическое распознавание датчиков;
- Дополнительные температурные камеры;
- Усилие 5 кН (1,125 фунтов силы);
- Максимальная скорость 1000 мм/мин (40 дюйм/мин);
- Вертикальное испытательное пространство 1193 мм (47 дюймов).

### **2.3 Методика проведения испытаний механических свойств при пониженных температурах**

Определение механических свойств полимеров при пониженных температурах аналогичным образом проводится согласно межгосударственному стандарту ГОСТ ИЕС 60811-501-2015, а также ГОСТ 17491-80.

Такие испытания заключаются в растяжении образца до разрыва при температуре испытания. Испытанию по определению предела прочности и относительного удлинения при разрыве подвергаются кабельные изделия наружным диаметром более 12,5 мм.

Время охлаждения образцов в случае жидкой охлаждающей смеси – 10 мин. В качестве испытательных температур, при которых проводятся испытания, выбраны  $-40$ ,  $-50$ ,  $-60$  °С. Выбор данного диапазона температур обусловлен необходимостью испытаний наиболее распространенных изоляционных материалов при температурах, свойственных районам Арктики (средние минусовые температуры: от  $-4$  °С до  $-25$  °С, а минимальные температуры: до  $-55$ ,  $-60$  °С). Это связано с тем, что в данный момент ведутся многочисленные работы по добыче полезных ископаемых в Арктических условиях.

В связи с этим, исследуемые резиновые оболочки с заявленной минимальной температурой эксплуатации  $-50$ °С и  $-65$ °С, подвергаются такой низкой температуре, которая соответствует условиям их фактической эксплуатации.

#### **2.4 Подготовка образцов**

В качестве объекта исследования были выбраны резины марки РШТМ-2 и ЭПР. Выбор данных материалов связан с тем, что оба материала являются тепло- и морозостойкими. В связи с этим, возникает необходимость в определении наиболее широкого температурного диапазона среди предложенных материалов. Это, в свою очередь, будет являться одним из ключевых параметров при выборе материала резиновой оболочки для кабельных изделий, работающих в условиях, как повышенных, так и пониженных температур.

Резина марки РШТМ-2 относится к классу кабельных шланговых резин. Данные резины применяют в качестве оболочек кабельных изделий. В связи с этим, к таким резинам предъявляют высокие требования к их механической прочности, так как в процессе эксплуатации им предстоит противостоять механическим воздействиям (растяжению, удару и др.). помимо этого, оболочки кабеля должны защищать изоляцию жил от солнечной радиации и других атмосферных воздействий.

В зависимости от назначения резина РШТМ-2 согласно ГОСТ 2068-61, относится к типу шланговых резин для кабелей, работающих в средних и легких условиях. При этом данный тип резины является теплостойким и морозостойким. Повышение морозостойкости в данном типе резины достигается за счет применения синтетического изопренового и бутадиенового маслonaполненного каучука (СКБМ).

Резина марки ЭПР является отдельным типом резины, в основе которой лежит применение этиленпропиленового каучука. Этиленпропиленовая резина – эластичный материал, который хорошо противостоит повышенным вибронагрузкам на кабели, подключённые к агрегатам, подверженным высоким вибрациям (подключения к двигателям, насосам и т.п.). Также данный тип резины характеризуется способностью сопротивляться термическому (тепловому) старению – т.е. сохраняет эксплуатационные свойства, изменения которых обусловлено повышенными температурами. Это определяет допустимую температуру нагрева токопроводящих жил. Чем выше этот показатель, тем выше допустимые токи нагрузки, которые можно пропускать через силовой кабель в течение длительного времени. Применением ЭПР в качестве изоляции позволяет увеличить пропускную способность кабеля за счет увеличения допустимой температуры жилы до 90°C.

Таблица 6 – Характеристики испытываемых материалов

Наименование характеристик	РШТМ-2	ЭПР
Предел прочности при разрыве, Н/мм <sup>2</sup> не менее	10	10
Относительное удлинение, % не менее	300	300
Морозостойкость, °С	-50 – при стационарной эксплуатации; -40 – при монтаже	-65 – при стационарной эксплуатации; -35 – при динамических нагрузках
Температура окружающей среды, верхний предел, °С	50	70
Максимальная рабочая температура жилы, °С	не более 75	90-105

Для исследования оболочек гибких кабелей, выполненных из РШТМ-



Рисунок 5 - Испытуемые образцы

нормируется в условиях, указанных в нормативной документации на конкретное кабельное изделие.

2 и ЭПР, согласно [6], образцы выполнены в форме двухсторонних лопаток (рис. 5), так как диаметр готовых кабельных изделий позволяет использовать общепринятую форму испытываемых образцов. Образцы с внешними механическими повреждениями в проведении испытания не участвуют. Все внутренние конструктивные элементы кабелей, в том числе пленки, при этом удаляются. Число испытываемых образцов равно пяти, если иное количество не

Кондиционирование проводится при температуре окружающей среды в соответствии с пунктом 9.1.3с ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011. Образцы перед определением сечения выдерживаются в течение не менее 3 ч при температуре  $(23\pm 5)^\circ\text{C}$  в отсутствие влияния прямого солнечного излучения.

Поперечное сечение каждого образца определяют, как произведение минимальных ширины и толщины, измеренных на каждом испытываемом образце. Данные измерения проводятся с помощью циферблатного микрометра.

## **2.5 Методика статической обработки результатов эксперимента**

Обработка результатов испытаний резиновых оболочек проводится в соответствии с ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011. Прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве подсчитывают согласно п. 7.3 и 7.4 настоящего стандарта. При этом прочностью при растяжении считается максимальное напряжение при растяжении образца при разрыве;

относительное удлинение при разрыве – увеличение контрольной длины образца при разрыве по сравнению с контрольной длиной нерастянутого образца, выраженное в процентах.

Предел прочности на разрыв определяется:

$$\sigma = \frac{F_p}{S} \text{ МПа,} \quad (2.1)$$

где  $F_p$  - предельное значение приложенной нагрузки, при которой произошел разрыв, Н;

$S$  - площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>:

$$S = a \cdot h, \quad (2.2)$$

где  $a$  - ширина рабочей зоны двухсторонней лопатки, мм;

$h$  - толщина оболочки, мм.

Относительное удлинение при разрыве определяется:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

где  $\Delta l$  - абсолютное удлинение образца, мм:

$$\Delta l = l_2 - l_1, \quad (2.4)$$

где  $l_2$  - длина образца после приложения нагрузки, мм;

$l_1$  - длина образца до приложения нагрузки, мм.

Из рассчитанных значений предела прочности и относительного удлинения определяется среднее значение полученных результатов.

### **3. Обсуждение результатов эксперимента**

Результаты испытаний резиновых оболочек гибких кабельных изделий позволят решить одну из задач данной диссертации, а именно определить наиболее широкий температурный диапазон материалов и разработать рекомендации по выбору наиболее устойчивых полимерных материалов к воздействию, как повышенных, так и пониженных температур.

Результаты испытаний прочности на разрыв для РШТМ-2 и ЭПР, старение которых проводилось при повышенных температурах, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Предел прочности на разрыв в зависимости от времени старения

Время старения, час	Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>					
	ЭПР			РШТМ-2		
	110°C	130°C	150°C	110°C	130°C	150°C
0	5,5	5,5	5,5	13,4	13,4	13,4
75	5,6	5,6	5,6	10,9	7,7	разрушение
168	5,5	5,5	5,3	9,2	разрушение	разрушение
320	5,5	5,3	4,9	8,6	разрушение	разрушение

Графики зависимости предела прочности от времени старения представлены на рисунках 6 и 7.

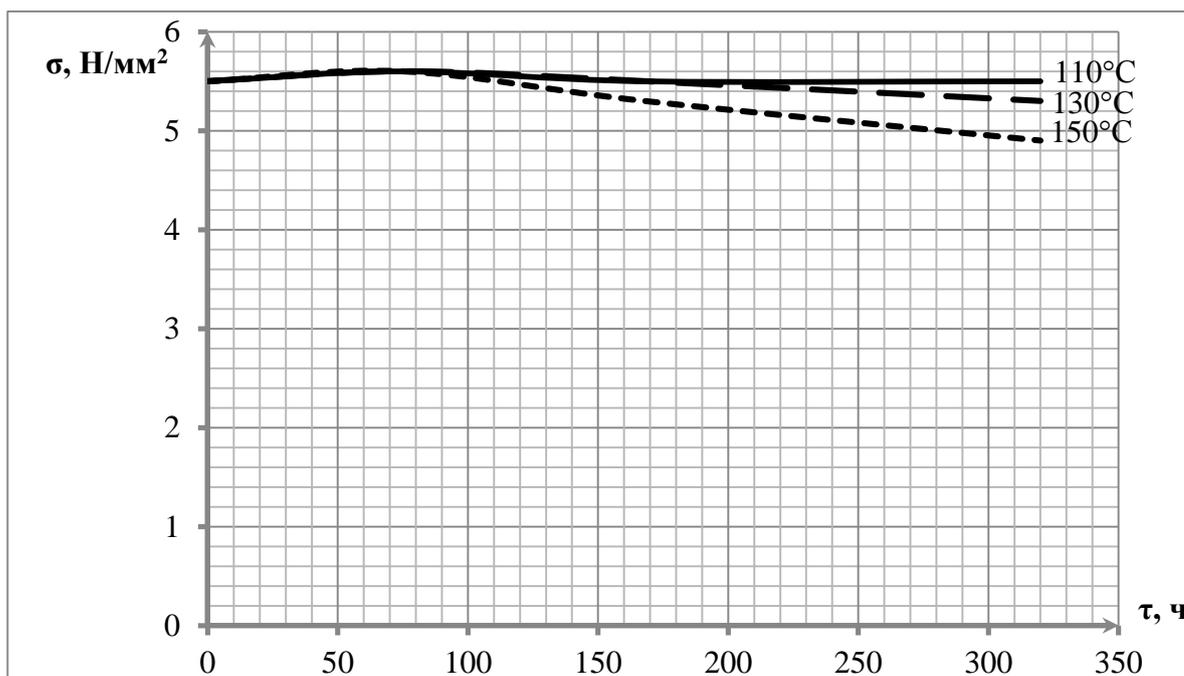


Рисунок 6 – Зависимость предела прочности  $\sigma$  от времени старения  $\tau$  для ЭПР

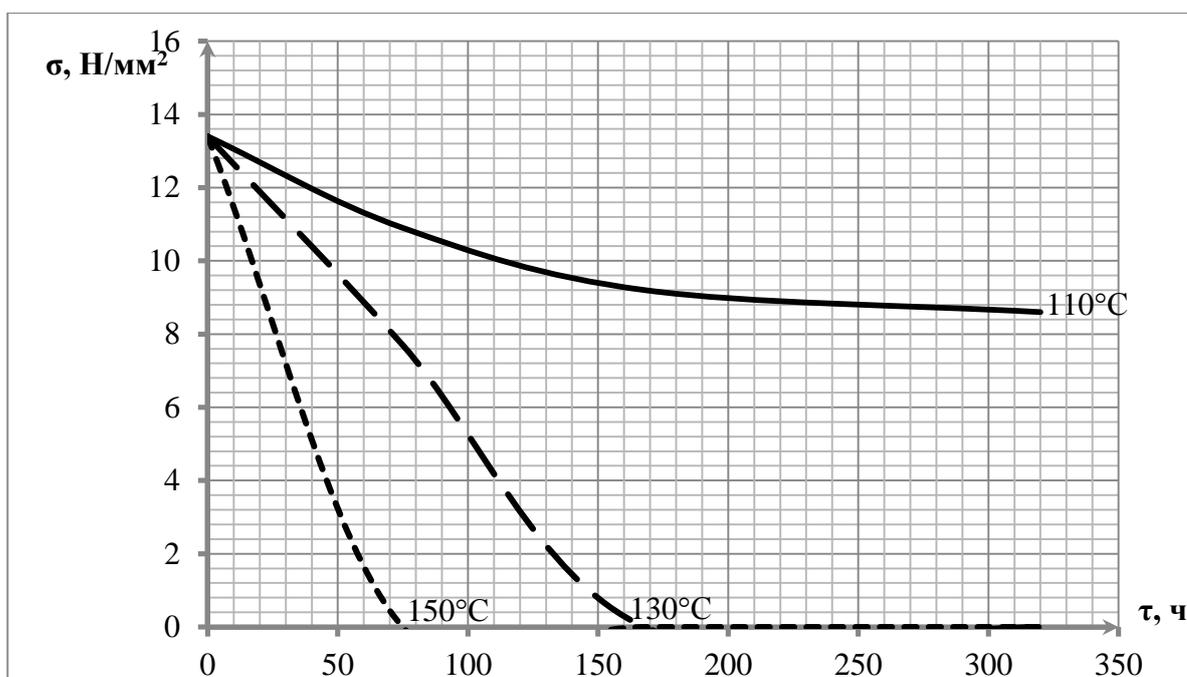


Рисунок 7 – Зависимость предела прочности  $\sigma$  от времени старения  $\tau$  для РШТМ-2

Предел прочности для резиновой оболочки марки ЭПР имеет убывающий характер для каждой из температур старения. Относительное значение изменения предела прочности при 110°C составило 0%, при 130°C – 4%, 150°C – 11%. В абсолютных единицах изменение при 110°C составило 0 МПа, при 130°C – 1,3 МПа, 150°C – 0,6 МПа.

Предел прочности для резиновой оболочки марки РШТМ-2 имеет убывающий характер для всех температур старения. При этом только при температуре старения 110°C образцы выдержали испытания. Относительное значение изменения предела прочности составило 36%, в абсолютных единицах изменение составило 4,8 МПа. При 130°C и 150°C образцы испытания не выдержали.

Величина относительного удлинения образца при разрыве для РШТМ-2 и ЭПР, старение которых проводилось при повышенных температурах, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Относительное удлинение при разрыве в зависимости от времени старения

Время старения, час	Относительное удлинение, %					
	ЭПР			РШТМ-2		
	110°C	130°C	150°C	110°C	130°C	150°C
0	348	348	348	552	552	552
75	327	319	293	347	277	разрушение
168	304	290	263	315	разрушение	разрушение
320	302	264	85	290	разрушение	разрушение

Графики зависимости относительного удлинения от времени старения представлены на рисунках 8 и 9.

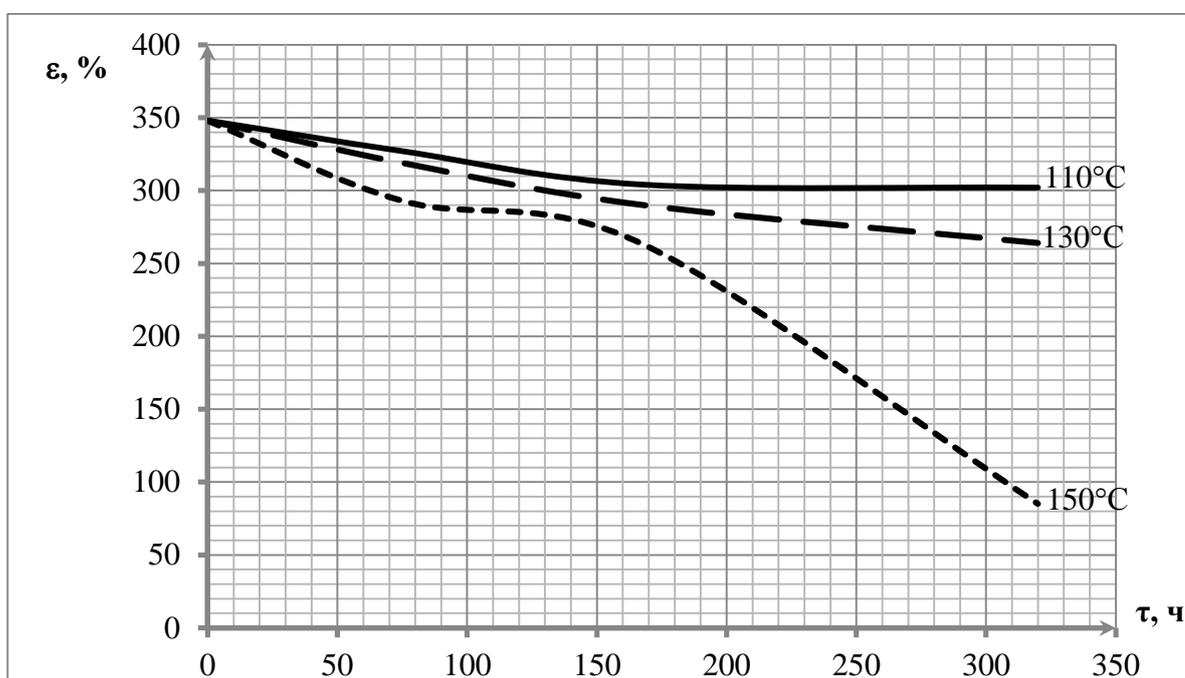


Рисунок 8 – Зависимость относительного удлинения  $\epsilon$  от времени старения  $\tau$  для ЭПР

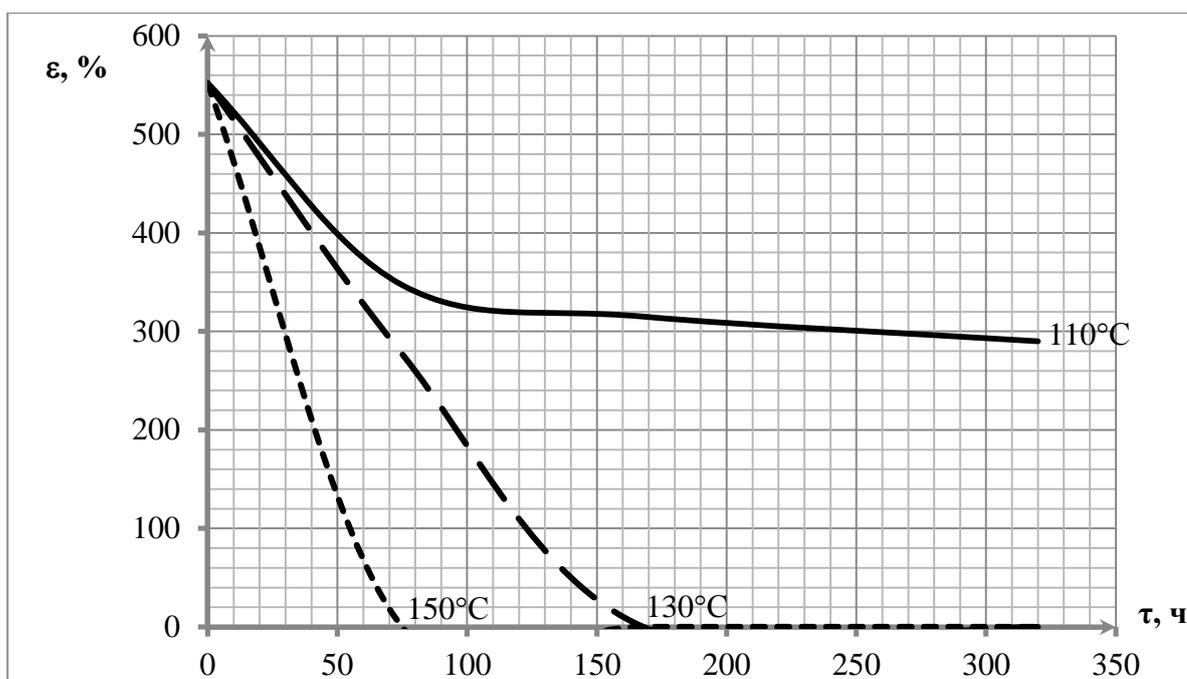


Рисунок 9 – Зависимость относительного удлинения  $\varepsilon$  от времени старения  $\tau$  для РШТМ-2

Относительное удлинение для резиновой оболочки марки ЭПР имеет убывающий характер для каждой из температур старения. Однако, скорость изменения – различная. Относительное значение изменения предела прочности при 110°C составило 13%, при 130°C – 24%, 150°C – 76%. В абсолютных единицах изменение при 110°C составило 46%, при 130°C – 84, 150°C – 263%.

Относительное удлинение для резиновой оболочки марки РШТМ-2 аналогично пределу прочности имеет убывающий характер для всех температур старения. Относительное значение изменения предела прочности при 110°C составило 47%, в абсолютных единицах изменение составило 262%.

Тепловое старение резин рассматривается как следствие окислительной деструкции содержащегося в резине каучука. Окисление каучуков и резин представляет собой цепной радикальный процесс с вырожденными разветвлениями. Тепловое старение большинства резин на основе синтетических каучуков характеризуется резким структурированием материала, снижением эластичности и увеличением жесткости в связи с резким уменьшением межмолекулярного взаимодействия. Это объясняет

убывающий характер зависимостей, как для резины марки РШТМ-2, так и для ЭПР. Однако, резина марки РШТМ-2 не выдержала испытания в отличие от ЭПР, так как в шланговой резине содержится больше двойных связей каучука, присоединение кислорода к которым приводит к разрыву цепи с образованием радикалов, обладающих реакционной способностью.

Результаты испытаний прочности на разрыв для РШТМ-2 и ЭПР, испытания которых проводились при пониженных температурах, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Предел прочности на разрыв в зависимости от температуры

Т, °С	Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>											
	ЭПР						РШТМ-2					
	1	2	3	4	5	Ср. знач	1	2	3	4	5	Ср. знач
25	5,92	5,52	5,29	5,74	5,90	5,67	14,06	13,85	13,44	12,14	13,56	13,41
-40	21,78	21,75	21,02	21,52	21,77	21,57	29,42	27,96	26,21	27,87	27,98	27,89
-50	23,73	26,37	25,58	25,23	25,62	25,31	31,17	28,59	24,66	28,14	28,57	28,23
-60	34,82	34,26	35,65	34,91	34,89	34,91	29,19	35,74	23,8	29,58	29,17	29,50

График зависимости предела прочности от температуры испытания представлен на рисунке 10.

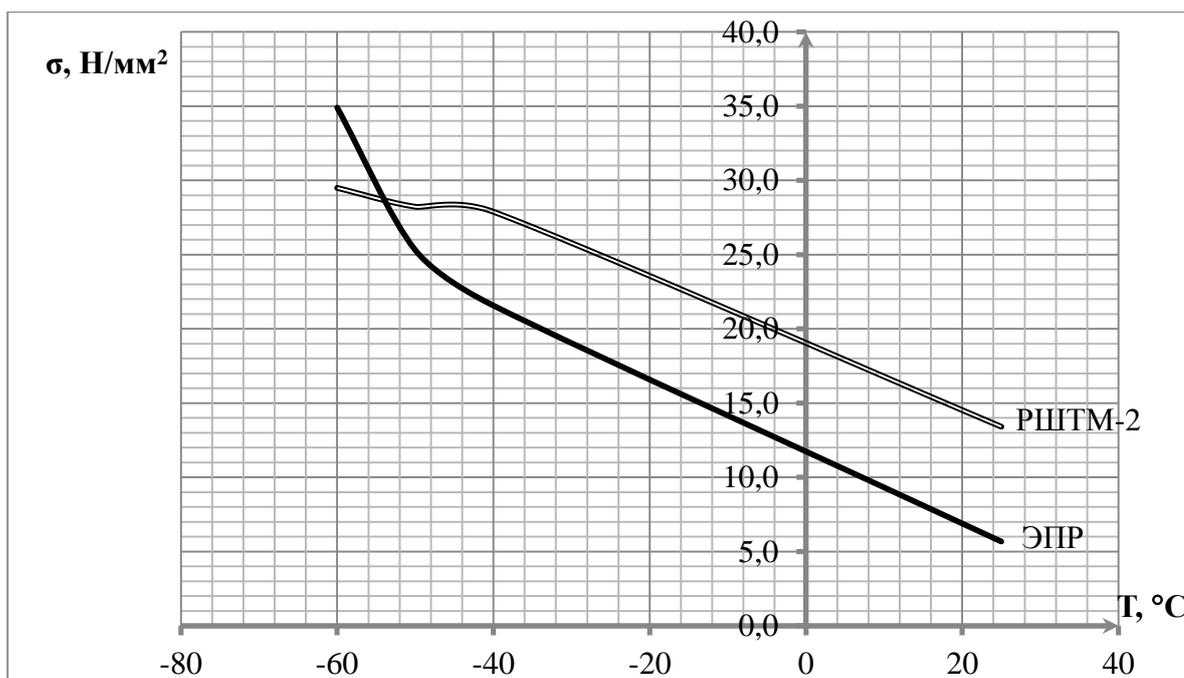


Рисунок 10 – Зависимость предела прочности  $\sigma$  от температуры испытания  $T$

Предел прочности, как для резиновой оболочки марки ЭПР, так и для РШТМ-2 имеет возрастающий характер с уменьшением температуры. Относительное значение изменения предела прочности для ЭПР составило 516%, для РШТМ-2 – 120%. В абсолютных единицах изменение для ЭПР составило 29,24 МПа, для РШТМ-2 – 16,09 МПа.

Величина относительного удлинения образца при разрыве для РШТМ-2 и ЭПР, испытания которых проводились при пониженных температурах, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Относительное удлинение при разрыве в зависимости от температуры испытания

Т, °С	Относительное удлинение, %											
	ЭПР						РШТМ-2					
	1	2	3	4	5	Ср. знач	1	2	3	4	5	Ср. знач
25	370	325	320	300	380	339	500	515	525	465	505	502
-40	200	185	173	186	181	185	498	498	507	465	485	492
-50	70	68	94	73	68	75	489	462	373	432	457	443
-60	20	21	22	21	23	21	353	349	309	333	346	336

График зависимости относительного удлинения от температуры испытания представлен на рисунке 11.

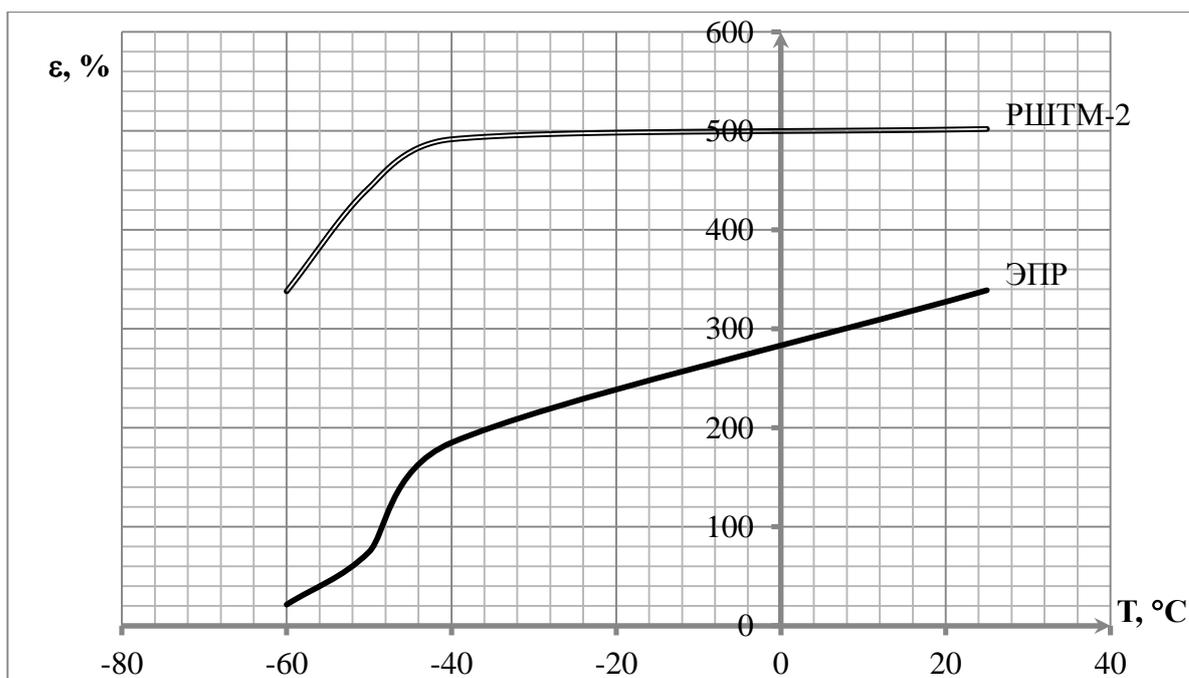


Рисунок 11 – Зависимость относительного удлинения  $\epsilon$  от температуры испытания  $T$

Относительное удлинение, как для резиновой оболочки марки ЭПР, так и для РШТМ-2 имеет убывающий характер с уменьшением температуры. Относительное значение изменения относительного удлинения для ЭПР составило 94%, для РШТМ-2 – 33%. В абсолютных единицах изменение для ЭПР составило 318%, для РШТМ-2 – 166%.

Под воздействием мороза резина, по мере снижения температуры, постепенно переходит из эластического в твердое состояние. При этом энергия теплового движения ослабляется, одновременно повышается энергия межмолекулярных взаимодействий. В силу внутренних структурных изменений под воздействием низких температур повышается сопротивление резины растягивающим силам, т.е. увеличивается прочность на разрыв и, наоборот, в связи с потерей эластических свойств снижается относительное удлинение. Потеря эластических свойств резин обуславливается происходящими в них процессами кристаллизации и стеклования каучуков. Увеличение разрывной прочности объясняется возрастанием работы, затрачиваемой на разрыв материала, в связи с затвердеванием оболочки кабеля.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

**Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:**

- Составление SWOT-анализа работы и эксплуатации ремонтно-механического цеха ферросплавного завода
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

##### **4.1 SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха ферросплавного завода**

SWOT-анализ представляет собой метод анализа планирования производственной или научной деятельности, разделяющий факторы или явления на следующие категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы), и состоящий из нескольких этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны:</b>	<b>Слабые стороны:</b>
	<p>С1. Собственная научная и производственная база для исследований.</p> <p>С2. Соответствие материала необходимым техническим характеристикам.</p> <p>С3. Доработка недостающей информации о характеристиках исследуемого типа материала.</p> <p>С4. Квалифицированный производственный персонал.</p>	<p>Сл1. Затраты времени на проведение испытаний.</p> <p>Сл2. Дороговизна используемого материала по сравнению с аналогами.</p> <p>Сл3. Высокие требования к характеристикам исследуемого материала.</p> <p>Сл4. Необходимость сравнительного анализа характеристик.</p>
<b>Возможности:</b>		
В1. Увеличение срока службы исследуемого объекта.	В1С2С3С4;	В1Сл3;
В2. Использование продукта в агрессивных условиях эксплуатации.	В2С1С2;	В2Сл2Сл3Сл4;
В3. Создание методики оценки ресурса кабельных изделий в исследуемых условиях.	В3С1С2С3;	В3Сл1Сл2Сл4;
<b>Угрозы:</b>		
У1. Отсутствие спроса на материал	У1С2С3;	У1Сл2Сл3;
У2. Введение дополнительных требований к материалу	У2С1С2С3;	У2Сл1Сл2Сл3;
У3. Угрозы выхода из строя оборудования на основе исследуемого материала	У3С2С3;	У3Сл2Сл3.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Таблица 10 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	-	+	+	+
	В2	+	+	-	-
	В3	+	+	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	-	+	-
	В2	-	+	+	+
	В3	+	+	-	+

Таблица 11 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	-	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	+	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	+	+	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 10 и 11, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно равно числу слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз проведения исследований. Однако, если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Что касается угроз, то влияние на сильные и слабые стороны одинаково.

## 4.2 Планирование научно-исследовательской работы

Планирование комплекса работ по научному исследованию состоит из нескольких этапов:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научного исследования.

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Также определяется перечень этапов в рамках исследования. Соотношение этапов и исполнителей приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Проведение испытаний исследуемого объекта	3	Заготовка образцов исследуемого материала	Студент-дипломник
	4	Определение условий испытания	Студент-дипломник, научный руководитель
	5	Испытания образцов в соответствующих условиях	Студент-дипломник, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования	Студент-дипломник, Научный руководитель

Оформление отчета по научному исследованию	7	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
	8	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник, Научный руководитель
	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения научного исследования

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях на основе ряда вероятностных оценок, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов, и рассчитывается следующим образом:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

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.;

$t_{maxi}$  - 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i},$$

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

$t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Рассчитанные значения трудоемкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Календарная продолжительность работ

Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
	$t_{\min}$		$t_{\max}$		$t_{\text{ож}}i$			
	НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-
Обзор научной и технической литературы	-	7	-	14	-	9,8	-	10
Заготовка образцов исследуемого материала	-	1	-	2	-	1,4	-	1
Определение условий испытания	1	1	3	3	1,8	1,8	2	2
Испытания образцов в соответствующих условиях	42	42	50	50	45,2	45,2	45	45
Оценка результатов исследования	1	3	3	5	1,8	3,8	2	4
Составление пояснительной записки	-	4	-	8	-	5,6	-	6
Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	3	-	1,8	-	2	-
Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
Защита ВКР	-	1	-	1	-	1	-	1

Примечание: минимальное  $t_{\min}$  и максимальное время  $t_{\max}$  получены на основе экспертных оценок.

#### 4.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [8].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [8]. На основе таблицы 13 строим план-график проведения работ (таблица 14).



Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает порядка 2 месяцев. Продолжительность выполнения технического проекта составит 75 дней. Из них для каждого в отдельности:

- 72 дней – продолжительность выполнения работ студента-дипломника;
- 55 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя.

### 4.3 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи [8]:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат

К материальным расходам относятся расходы на сырье и материалы для производства товаров, инструменты, приспособления, инвентарь, приборы, лабораторное оборудование и другие.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi},$$

где  $m$  - количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$  - количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию, ед.;

$C_i$  - цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов, руб./ед.;

$k_T$  - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Кабель с оболочкой из ЭПР	10	842	9683
Кабель с оболочкой из РШН	10	49	552
Кусачки	1	200	230
Бокорезы	1	500	575
Перчатки	1	30	35
Маркер	1	60	69
Линейка	1	20	23
Бумага	1	250	288
Ручка	2	15	35
<i>Итого</i>			<i>11490</i>

#### 4.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как [8]:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается, исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле [15]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $Z_{\text{дн}}$  - среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  - продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [8]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{тс}}$  - заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{доп}}$  - доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$  - районная доплата, руб.;

$F_{\text{д}}$  - количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 16.

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.	$Z_{\text{р.к.}}$ , руб.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Научный руководитель	17000	2550	5865	25415	1155	55	63525
Студент-дипломник	2600	390	897	3887	177	72	12744
<i>Итого</i>							76269

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15) [8].

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.	$Z_{\text{полн}}$ , руб.
Научный руководитель	0,15	63525	9529	74054
Студент-дипломник	0,12	12744	1529	14273
<i>Итого</i>		76269	3894	88327

### 4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot З_{\text{полн}},$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [8].

На 2018 г. в соответствии с ст. 425, 426 НК РФ и Федеральным законом от 27.11.2017 № 361-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 88327 = 26498 \text{ руб.}$$

#### **4.3.4 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$З_{\text{накл}} = \sum Z \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы [8].

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

#### **4.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта**

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении

договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [8].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
Материальные затраты ТП	11,5	7,7
Затраты на оплату труда	88,3	58,7
Отчисления во внебюджетные фонды	26,5	17,6
Накладные расходы	24,1	16,0
<i>Итого</i>	<i>150,4</i>	<i>100,0</i>

Исходя из сметы затрат, на технический проект требуется 150,4 тыс.рублей. Согласно диаграмме Ганта продолжительность всей работы составила 75 рабочих дней.

#### 4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [8]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к исследуемому изоляционному материалу и готовому кабельному изделию:

1. Стойкость – одно из свойств полимера, характеризующее возможность изменения его характеристик при воздействии внешних факторов.

2. Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

3. Негорючесть – это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.

4. Эластичность – это свойство полимерного тела восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил.

5. Дешевизна – низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.

6. Экологичность – это свойство, характеризующее безопасное влияние на окружающую среду при обработке или переработке материала.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка
1. Стойкость	0,20	5
2. Безотказность	0,22	5
3. Негорючесть	0,15	4
4. Эластичность	0,18	4
5. Дешевизна	0,10	3
6. Экологичность	0,15	5
<i>Итого</i>	<i>1,00</i>	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [8]:

$$I_p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,22 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,47$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы стойкости и безотказности позволяют судить о надежности используемого материала.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект будет эффективным, так как влияние возможностей на сильные стороны проекта больше, чем на слабые, когда количество сильных и слабых сторон одинаково;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта в размере 150,4 тыс.рублей;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,47 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

## **5. Социальная ответственность**

В этом разделе рассматриваются вопросы выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению.

В рамках дипломного проекта были проведены исследования стойкости резиновой оболочки к воздействию углеводородных жидкостей, в качестве которых использовались трансформаторное масло и дизельное топливо.

Эксперименты проводились в лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск» в следующей последовательности:

- 1) Подготовка образцов для испытаний на старение в агрессивной среде (трансформаторное масло, дизельное топливо);
- 2) Испытание образцов в исходном состоянии;

3) Старение образцов при различном времени воздействия агрессивной жидкости;

4) Испытание образцов после старения.

Для проведения экспериментов использовалось следующее оборудование:

– разрывная машина для определения механических характеристик.

## **5.1 Анализ вредных факторов**

Существует ряд факторов, которые могут привести к опасности для здоровья во время проведения работ в исследовательских лабораториях. Данные факторы могут привести к возникновению несчастных случаев, профессиональных заболеваний, а также пожаров и взрывов. Поэтому для правильной организации работ по борьбе с травматизмом, профессиональными и общими заболеваниями рассмотрим вопросы охраны труда на рабочем месте.

Основные вредные факторы:

- испарение летучих продуктов;
- отклонение параметров микроклимата;
- повышенный уровень шума;
- недостаточная освещенность.

Влияние указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению трудоспособности, вызванное переутомлением, что приводит к развитию профессиональных заболеваний.

Рассмотрим нормы, предъявляемые к выявленным факторам, и их способы реализации.

### *Вредные вещества*

В процессе проведения исследований одним из основных вредных факторов является испарение летучих продуктов из агрессивной среды. Испаренные летучие продукты могут нанести вред здоровью человека.

Согласно [10] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;
- 4-й - вещества малоопасные.

Дизельное топливо и трансформаторное масло относятся к малотоксичным веществам 4-го класса опасности [11,12]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны для вредных веществ 4-го класса – более 10 мг/м<sup>3</sup>.

Для устранения или уменьшения воздействия данного вредного фактора в лаборатории производится вентиляция помещения. Так как в здании изначально не было отведено места для установки искусственной вентиляции (воздуховодов), то помещение проветривается естественным способом, т.е. открывается окно на некоторое время в отсутствие рабочего персонала. Для увеличения эффекта вентиляции необходимо установить вытяжку с вентилятором (принудительная вентиляция).

#### *Микроклимат*

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве (в лаборатории).

Микроклимат определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- подвижность воздуха, м/с;
- тепловое излучение, Вт/м.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека и определяются согласно [15]. Они обеспечивают общее и локальное

ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия. Температура воздуха в помещении зависит, в основном от производственного процесса, при осуществлении которого, выделяется тепло. Экспериментальные работы, которые проводились в лаборатории, можно отнести к категории легкой физической работы Iб (производство, сидя, стоя, не требует систематического физического напряжения). Оптимальная температура воздуха в холодный период года составляет  $(21 \div 23)^\circ\text{C}$ , в теплый период не более  $(22 \div 24)^\circ\text{C}$ . Для поддержания данной температуры воздуха в холодный период времени предусмотрены батареи центрального отопления.

Влажность воздуха влияет на теплообмен в организме человека, затрудняя или облегчая теплообмен организма с окружающей средой. Оптимальная норма относительной влажности должна составлять  $(40 \div 60)\%$ , что соответствует условиям метеорологического комфорта при покое или легкой физической работе.

В производственных условиях подвижность воздуха создается конвекционными потоками воздуха, которые возникают в результате проникновения в помещение холодных масс воздуха, либо за счет разности температур в смежных участках производственных помещений, а также создается искусственно работой вентиляционных систем. Для холодного и теплого периодов оптимальная величина скорости движения воздуха составляет 0,1 м/с.

Все оптимальные условия микроклимата в исследовательской лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск» соблюдены, поэтому дополнительные мероприятия, направленные на улучшение условий, не требуются.

## *Шум*

С физиологической точки зрения шум рассматривают как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека.

Шумы в рассматриваемом помещении возникают как от внутренних источников, так и от внешних раздражителей. К внутренним источникам мы относим технику и вентиляционное оборудование. Используемая в процессе проведения исследования техника производит мало шума, поэтому в помещении достаточно использовать звукопоглощение. Чтобы уменьшить шум, который проникает в помещение извне, достаточно установить уплотнение по периметру притворов окон и дверей. Для персонала, осуществляющего работающего при легкой физической нагрузке и напряженности легкой степени эквивалентный уровень звука не должен превышать 80 дБА в соответствии с [16].

## *Освещение на рабочем месте*

Правильно организованное освещение рабочего места обеспечивает сохранность зрения и нормальное состояние нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Производительность и качество продукции также зависят от освещения. На рабочем месте освещение должно быть таким, чтобы работник мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Усталость органов зрения зависит от таких факторов, как недостаток света, чрезмерная освещенность, неправильное направление света.

Выполняемая работа относится к классу «малой точности». Согласно [19] для освещения промышленных предприятий регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 200 Лк.

Для обеспечения нормативной освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Искусственное освещение осуществляется с помощью электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Использование энергосберегающих ламп, по сравнению с лампами накаливания, имеет существенные преимущества:

- по спектральному составу света они близки к дневному;
- высокая светоотдача (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания);
- высокий КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);
- больше длительный срок службы.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

$H = 3,2$  – высота помещения, м;

$h_c = 0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (свес), м;

$h_{\Pi} = H - h_c$  – высота светильника над полом, высота подвеса, м;

$h_p = 0,8$  – высота рабочей поверхности над полом, м;

$h = h_{\Pi} - h_c$  – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p - h_c = 3,2 - 0,8 - 0,2 = 2,2 \text{ м.}$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{48}{2,2 \cdot (8+6)} = 1,56,$$

где  $A$  - длина помещения, м;

$B$  - ширина помещения, м;

$S$  - площадь освещаемого помещения:

$$S = A \cdot B = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2.$$

По значению  $i$  выбираются коэффициент использования освещенности,  $\eta = 0,46$  для светильника типа ШОД, с учетом того, что помещение имеет свежепобеленный потолок ( $p_n = 70 \%$ ), свежепобеленные с окнами без штор ( $p_c = 50 \%$ ).

Разрабатывается план помещения и размещение светильников:

где  $L$  - расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине ( $A$ ) и ширине ( $B$ ) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $L_A$  и  $L_B$ ), м;

$l$  - расстояние от крайних светильников или рядов до стены, м.

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Светильник ШОД имеет габаритные размеры 1530x284x155 мм.

Расстояние между светильниками  $L$  определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,2 = 2,64 \text{ м},$$

где  $\lambda = 1,2$  - интегральный критерий оптимальности расположения светильников для светильника типа ШОД с защитной решеткой.

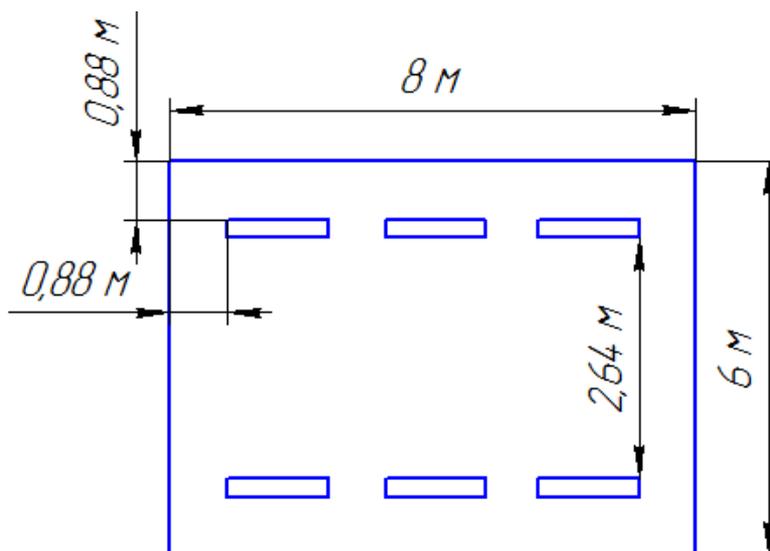


Рисунок 12 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Исходя из плана помещения и размещения светильников получается количество светильников равным  $n = 6$  (2 ряда светильников по 3 светильника в длину).

$$F = \frac{E_n \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,46} = 5340 \text{ Лм},$$

где  $E_n = 200$  - нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, Лк;

$K = 1,5$  - коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли;

$Z = 1,1$  - коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп.

По световому потоку выбираем люминесцентную лампу ЛБ-80.

Мощность всей осветительной системы:

$$P = 12 \cdot 80 = 960 \text{ Вт.}$$

## 5.2 Анализ опасных факторов

Основные опасные факторы:

- поражение электрическим током (при соприкосновении с токоведущими частями установки);
- вероятность пожара.

### *Электробезопасность*

Опасное и вредное воздействие на людей электрическим током, электрической дугой и электромагнитным полем проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Степень вредного и опасного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от:

- величины и рода тока и напряжения;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Мерами, обеспечивающими безопасность при нормальном состоянии электрооборудования, является недоступность и рабочая изоляция токоведущих частей, защитное разделение сетей и малые напряжения.

К дополнительным мерам, устраняющим опасность при появлении напряжения на токоведущих частях, относится защитное заземление, защитное отключение, выравнивание потенциалов и двойная изоляция.

Выбор комплекса мер защиты, электрозащитных средств и защитных мероприятий определяется видом электроустановки, величиной применяемого напряжения, условиями помещения, в котором расположена электроустановка и т.п.

Для того, чтобы исключить возможность непосредственного прикосновения человека к токоведущим частям, их тщательно изолируют,

ограждают кожухами, щитами или располагают на недоступной высоте. Повреждение изоляции является основным источником аварий и причиной многих несчастных случаев.

В качестве изоляции в электрических сетях и установках применяют фарфор, стекло, клинкер, смолу и ее производные, бумагу, картон, фибру, текстолит, пластмассы, резину, минеральные масла, лаки и другие органические соединения. При выборе электроизоляционных материалов обычно исходят из ряда факторов: назначения установки, удобства механической обработки, стоимости материала и его диэлектрических свойств.

Надежность является одним из обязательных требований при эксплуатации средств электрической изоляции. В производственных помещениях, в которых имеется оборудование, работающее при напряжении более 1000В, устраивают ограждения токоведущих частей независимо от наличия изоляции. Электрооборудование защищают не только от случайного прикосновения к его открытым частям, а также и от возможного воздействия на него разрушающих влияний внешней среды и других факторов, которые в конечном счете могут привести к электропоражениям, авариям, пожарам и взрывам.

Коммутационная аппаратура должна быть снабжена надежным заземляющим выводом, имеющим зажимной винт или болт по ГОСТ 21130 и ГОСТ 12.2.007.3 с указанием возле заземляющего болта знака заземления по ГОСТ 21130. Заземляющий проводник должен удовлетворять нормированным аварийным условиям. Части металлических оболочек, подсоединенных к системе заземления, могут рассматриваться как заземляющий проводник. Все металлические составные части и оболочки, которых возможно коснуться во время нормальных условий функционирования, и которые предназначены для заземления, должны быть соединены с заземляющим выводом.

Производственные помещения по степени опасности поражения людей электрическим током в соответствии с [13] подразделяется на три категории. Лаборатория ПАО «НИКИ г.Томск» относится к третьей категории, т.е. к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» и «особую опасность».

### *Пожаробезопасность*

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

По степени пожарной опасности, согласно [10], лабораторию можно отнести к категории В, так как в ней ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120°C.

В лаборатории, где проводились исследования, причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

Пожарная безопасность в лаборатории достигается комплексом профилактических мероприятий, включающих в себя организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относятся:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожароопасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в лаборатории.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.
5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

К техническим мероприятиям относятся:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.
2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом. По окончании работы в лаборатории сотрудник уходящий последним, обязан:
  - а) выключить прибор из сети;
  - б) выключить рубильник;
  - в) выключить освещение.

В лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск» на случай пожара находится огнетушитель ОУ-8, предназначенный для тушения пожаров на электрических установках или оборудовании под напряжением. Пенный огнетушитель ОХЛ-10 предназначен для тушения огня в тех местах, где нет напряжения.

Для своевременной ликвидации элементов возгорания используют световые, тепловые и дымовые датчики, реагирующие на наличие того или иного фактора.

## *Зануление*

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью.

При занулении корпуса электрооборудования соединяются не с заземлителями, а с нулевым проводом.

Принцип действия: зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключает поврежденный участок сети. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю. При замыкании на зануленный корпус ток короткого замыкания проходит через обмотки трансформатора, фазный провод и нулевой провод.

### **5.3 Охрана окружающей среды**

Резина изготавливается методом вулканизации каучука (20-60% состава резины) с добавлением смесей. Другие компоненты резиновой смеси – наполнители, вулканизирующие вещества, ускорители, пластификаторы, противостарители. Основные материалы, используемые в полимерном производстве резины, такие как бутадиен и стирол, и многие добавки к полимерам могут вызывать системные токсические эффекты. Токсины, которые освобождаются при разложении резины, намеренном сжигании или случайных пожарах очень загрязняют воду, воздух и почву. В

эксплуатируемом же состоянии резина безвредна для человека и окружающей среды.

Процесс исследования также может иметь влияние на окружающую среду, как и объект исследования. Но в данном случае, негативные последствия могут быть вызваны только при возникновении пожара. В этом случае произойдет выброс продуктов горения за пределы производственного помещения. Помимо продуктов термического разложения используемого полимера, согласно [9] среди продуктов горения, негативно сказывающихся на экологии окружающей среды, имеют место углекислый газ (более 0,11 кг/м<sup>3</sup>), угарный газ (более 1,16·10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>), соляная кислота (более 23·10<sup>-6</sup> кг/м<sup>3</sup>) и другие.

При отсутствии аварийной ситуации, приводящей к выбросу продуктов термического разложения, также существуют следующие виды отходов, которые могут нанести вред окружающей среде:

- сброс сточных вод;
- твердые отходы.

Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Это комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня.

#### **5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях**

Согласно [14] потенциальная угроза жизни и здоровью населения в ЧС может реализоваться вследствие высвобождения в природную среду обитания человека больших количеств сконцентрированной энергии, опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов.

В связи с этим, мероприятия по защите должны осуществляться в объемах, обеспечивающих не превышение допустимого нормативного воздействия на людей реализовавшихся поражающих факторов. Если в силу складывающихся обстоятельств установленные нормативы допустимых опасных воздействий могут быть превышены, мероприятия по защите людей надлежит проводить по направлениям и в масштабах, позволяющих максимально ослабить это воздействие.

Основные причины чрезвычайных ситуаций:

- влияние внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей;
- результаты стихийных бедствий и особо опасных инфекций;
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорости, температуры, вибрации);
- производственные дефекты сооружений (ошибки при исследовании и проектировании, плохое выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);
- нарушение правил безопасности при ведении работ и технологических процессов;
- ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью, и т. д.

Одним из условий быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

Для ликвидации последствий ЧС созданы следующие службы:

- оповещения и связи;

- противорадиационной и противохимической защиты;
- медицинская;
- аварийно-техническая;
- охраны общественного порядка.

### **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Перед началом работ в исследовательской лаборатории должен быть пройден инструктаж (вводный и на рабочем месте). Для студентов, группа по электробезопасности, которых не превышает II, необходимо ознакомиться с нормативной документацией и сдать экзамен ответственному по ТБ на предприятии. При этом все работы проводятся в присутствии работника предприятия с допуском по электробезопасности не ниже III.

При выполнении дипломной работы по оценке стойкости оболочки, выполненной из резины, к действию агрессивной среды, основной причиной поражения электрическим током может послужить прикосновение к блоку управления в момент испытаний образцов. Для устранения данных факторов предусмотрены следующие меры:

- высоковольтная ячейка снабжена блокировкой, штепсельным разъемом для видимого разрыва цепи;
- электрическая проводка скрыта от случайного прикосновения.

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в лаборатории обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту.

Что касается, индивидуальных средств защиты персонала, то в электроустановках до 1000В к основным изолирующим средствам относятся диэлектрические перчатки, изолирующие и токоизмерительные клещи, монтерский инструмент с изолирующими рукоятками, токоискатели, к

дополнительным – диэлектрические галоши, коврики, изолирующие подставки.

1. ГОСТ 12.1.004-91. "Пожарная безопасность. Общие требования".
2. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
3. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.
4. ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные. Технические условия.
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
7. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
9. СП 2.2.1.1312-03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий.
10. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
11. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были исследованы образцы кабельных изделий, оболочка которых выполнена из шланговой и этиленпропиленовой резин. В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее широким интервалом температур обладает этиленпропиленовая резина, так как шланговая резина не прошла испытания повышенными температурами. Поэтому использование этиленпропиленовой резины в качестве изоляционного материала для кабельных изделий, работающих в условиях, как повышенных, так и пониженных температур, целесообразнее.

Что касается экономической стороны исследования, то в работе были рассчитаны необходимые затраты, включающие материальные затраты, накладные расходы, затраты на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды. Также было проведено планирование данной работы и построен линейный график работ (диаграмма Ганта), который позволил наглядно представить продолжительность всей дипломной работы.

В разделе социальной ответственности был проведен анализ опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при выполнении экспериментальной части работы, были разработаны мероприятия по пожарной безопасности, производственной санитарии и охране окружающей среды, а также был произведен расчет искусственного освещения.

### Список используемой литературы

1. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.
2. Троицкий И. Д. Производство кабельных изделий: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ / И. Д. Троицкий. - Москва: Высш. шк., 1979.
3. Основные свойства полимеров: учебное пособие / В. М. Сутягин, О. С. Кукурина, В. Г. Бондалетов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 96 с.
4. Бухина М.Ф., Курлянд С.К. Б94 Морозостойкость эластомеров. - М.: Химия, 1989. - 176 с.: ил.
5. ГОСТ 31945-2012 Кабели гибкие и шнуры для подземных и открытых горных работ. Общие технические условия.
6. ГОСТ ИЕС 60811-501-2015
7. Анкудимова И.А. Химия: Учебное пособие [Электронный ресурс] [http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/538/38538/16316?p\\_page=6](http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/538/38538/16316?p_page=6)
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие / Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. - М.: Издательство ТПУ, 2014. - 36 с.
9. ГОСТ 12.1.004-91. "Пожарная безопасность. Общие требования".
10. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
11. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.
12. ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные. Технические условия.
13. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

- 14.ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
- 15.СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 16.СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
- 17.СП 2.2.1.1312-03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий.
- 18.СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 19.СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

## Приложение

### INFLUENCE OF OPERATING FACTORS ON PROPERTIES OF INSULATION AND SHEATH OF FLEXIBLE CABLE PRODUCTS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM6M	Хить Алиса Эдуардовна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., ДОЦЕНТ		

Консультант-лингвист ОИЯ ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоринова Зоя Владимировна	к.п.н., ДОЦЕНТ		

## INTRODUCTION

Flexible cable products are designed for use in conditions of possible strains, bends and mechanical loads complicated by the influence of the external environment. The main requirements for cables for any purpose are the reliability and safety of operation. However, special requirements are imposed in addition to cables depending on operating conditions. Flexible cables, which are operated in open spaces, must ensure operability when dew, fog, dust and cold affect them. This is especially true of cable operation in the harsh climatic conditions of the Arctic. In addition to external influences, the operation itself involves working at high temperatures due to the load current passing through the cable for a long time.

In this regard, there is a need for the production of such a cable product, the temperature range of which will meet both the requirements of operation in extremely low temperatures and the requirements for high permissible heating temperature of conductive conductors.

At current, there is an active development of insulation materials for the cable industry, which makes it possible to use cables in any operating conditions. The development takes place not only in the group of polyethylene insulation, but also in the traditional cable industry – rubber. In this regard, the purpose of this master's thesis is to study the effect of high and low temperatures on hose and ethylene propylene rubber.

In turn, the main tasks that will need to be solved are:

1. Study of operating conditions and factors affecting the reliability of flexible cable products.
2. Development of methods and schedule of tests, preparation of samples.
3. Carrying out thermal aging of cables with different shell material (hose and ethylene propylene rubber).
4. Testing.
5. Study of the dependence of the rate of change in the mechanical characteristics of the cable sheath on the time of thermal aging and the type of rubber.

6. Study of the dependence of changes in the mechanical characteristics of the cable product shell on the operating temperature (at low temperatures).

7. Development of recommendations for the selection of rubber shells with a wide range of operating temperatures.

To solve the set tasks in the objects of study rubber shell brands RSTM-2 (hose heat and frost) and EPR (ethylene propylene) have been selected.

## 1. Methodical part

### 1.1 Methodology for carrying out the aging at high temperatures

Aging of polymers under exposure to high temperatures is conducted in the laboratory according to international standard IEC 60811-401-2015. This standard applies to tests of insulation materials and cable sheaths made of cross-linked and thermoplastic polymer compositions during thermal aging in a thermostat.

For testing, rubber shell samples were selected from three different locations without mechanical damage, contamination or other defects visible without magnifying devices. In addition, more than 16 hours have passed since the manufacture of cable products, whose shell is exposed to aging.

For aging and further tests to determine the mechanical properties of the rubber shell after the influence of such an operational factor as high temperatures, five samples in the form of bilateral blades from each piece of the cable material (Fig.1). The thickness of the blade samples does not exceed 2.0 mm and not less than 0.8 mm.

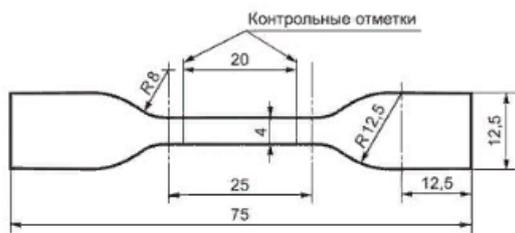


Figure 1-double-sided blade Sample

The method of aging is to extract the prepared samples of the rubber shell in the temperature chamber. Five samples are suspended vertically in the middle of the thermostat at a distance of at least 20 mm from each other. They are then held in a cell for 320 hours. +110, +130, +150°C were selected as the test temperatures of aging.

After aging, the samples are removed from the thermostat and kept at ambient temperature without exposure to direct sunlight for at least 16h.

## 1.2 Method of testing mechanical properties at high temperatures

The durability of materials determines the service life of the product. The aging process of viscoelastic materials such as polymers is irreversible. The rate of aging depends on the sensitivity of the material to high temperatures during operation. The result of physic-chemical processes is the deterioration of the mechanical properties of the material. Therefore, to assess the reliability of the cable product, the analysis of changes in the characteristics of the material exposed to high temperatures is carried out.

Testing of mechanical properties of polymers is conducted in the laboratory according to the interstate standard GOST IEC 60811-501-2015. The proposed standard considers test methods for determining the mechanical properties of cross-linked and thermoplastic insulation and shell compositions. This type of testing allows to determine the tensile strength and elongation at break of the cable product shell material, both in the initial state and in one or more types of accelerated thermal aging.

The two-column testing machine of the INSTRON series 3365 brand is used as the equipment for testing (Fig. 2).



Figure 2 - Test machine

The 3365 dual-column bench top systems are ideal for tensile and/or compression tests at loads below 50 kN.

Main features of INSTRON3365:

- Loading accuracy 0.5% of the specified load;
- The data sampling frequency of 500 Hz;
- Full software control;
- Touch control panel;
- Automatic detection of sensors;
- Additional temperature chambers;
- Force 5 kN (1,125 pounds of force);

- Maximum speed 1000 mm / min (40 in / min);
- Vertical test space 1193 mm (47 in).

### **1.3 Method for testing mechanical properties at low temperatures**

The determination of the mechanical properties of polymers at low temperatures is similarly carried out in accordance with the interstate standard GOST IEC 60811-501-2015 and GOST 17491-80.

These tests consist of stretching the specimen to break at the test temperature. The tensile strength and elongation of cable products with an outer diameter of more than 12.5 mm shall be tested.

The cooling time of the samples in the case of a liquid cooling mixture is 10 minutes. -40, -50, -60 °C are selected as the test temperatures at which the tests are carried out. The choice of this temperature range is due to the need to test the most common insulation materials at temperatures characteristic of the Arctic regions (average minus temperatures: -4 °C to -25 °C, and minimum temperatures: -55, -60 °C). This is due to the fact that at the moment there are numerous works on the extraction of minerals in the Arctic.

In this regard, the rubber shells under study with the declared minimum operating temperature of -50°C and -65°C are subjected to such a low temperature that corresponds to the conditions of their actual operation.

### **1.4 Preparation of samples**

Rubber stamps RSTM-2 and EPR was selected as the research object. The choice of these materials is because both materials are heat and frost resistant. In this regard, there is a need to determine the widest temperature range among the proposed materials. This will be one of the key parameters when choosing a rubber sheath material for cable products operating in conditions of both high and low temperatures.

Rubber stamps RSTM-2 belongs to the class of cable hose rubber. These rubbers are used as shells of cable products. In this regard, such tires are subject to high requirements for their mechanical strength, as in the process of operation they

have to withstand mechanical stress (stretching, impact, etc.). In addition, the cable sheaths must protect the insulation of the cores from solar radiation and other atmospheric influences.

Depending on the purpose RSTM rubber-2 refers to the type of rubber hose for cables, working in medium and light conditions. This type of rubber is heat-resistant and frost-resistant. Increasing frost resistance in this type of rubber is achieved through the use of synthetic isoprene and butadiene oil-filled rubber.

EPR rubber is a separate type of rubber, which is based on the use of ethylene propylene rubber. Ethylene propylene rubber is an elastic material that well resists increased vibration loads on cables connected to units subject to high vibrations (connections to engines, pumps, etc.). In addition, this type of rubber is characterized by the ability to resist thermal (thermal) aging-*ie*, retains operational properties, changes which are due to high temperatures.

This determines the permissible heating temperature of the conductor. The higher this index, the higher the permissible load currents that can be passed through the power cable for a long time. Using EPR as insulation allows increasing the capacity of the cable by increasing the allowable core temperature to 90°C.

Table 1 - Characteristics of the tested materials

<b>Name characteristics</b>	<b>RSTM-2</b>	<b>EPR</b>
Tensile strength, N/ mm <sup>2</sup> min	10	10
Elongation, % min	300	300
Frost resistance, °C	-50 – in stationary operation; -40 – during installation	-65 – in stationary operation; -35 – during installation
Ambient temperature, upper limit, °C	50	70
Max operating core temperature, °C	не более 75	90-105
Insulation resistance, Mom·km min	50	200

For the study of shells flexible cables, made of RSTM-2 and EPR, the



Figure 3 - Test samples

samples made in the form of double-sided blades (Fig. 3), since the diameter of the finished cable products allows the use of the generally accepted form of the tested samples. Samples with external mechanical damage are not involved in the test. All internal structural elements of the cables, including the film, are removed. The number of test specimens is five, unless a different number is not specified in the terms specified in the normative documentation on the specific cable product.

The conditioning is carried out at ambient temperature in accordance with paragraph 9.1.3c GOST IEC 60811-1-1-2011. Samples prior to determining the cross-section are aged for at least 3 h at a temperature of  $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$  in the absence of the influence of direct solar radiation.

The cross section of each sample is defined as the product of the minimum width and thickness measured on each test sample. These measurements are made using a dial micrometer.

### 1.5 Method of static processing of experimental results

Processing of the test results of rubber shells is carried out in accordance with GOST IEC 60811-1-2011. Tensile strength and elongation at break is calculated according to paragraphs 7.3 and 7.4 of this standard. Tensile strength is considered the maximum tensile stress of the specimen at break; elongation at break is the increase in the reference length of the specimen at break compared to the reference length of the unstretched specimen expressed as a percentage.

Tensile strength is determined by:

$$\sigma = \frac{F_p}{S} \text{ MPa,}$$

where  $F_p$  - limit value of the applied load at which the rupture occurred, N;

$S$  - cross-sectional area of the sample, mm<sup>2</sup>:

$$S = a \cdot h,$$

where  $a$  - working area width of double-sided blade, mm;

$h$  - shell thickness, mm.

The elongation at break is determined by:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1} \cdot 100\% ,$$

where  $\Delta l$  - absolute elongation of the sample, mm:

$$\Delta l = l_2 - l_1 ,$$

where  $l_2$  - length of the specimen after the load application, mm;

$l_1$  - length of the specimen before load application, mm.

The average value of the results obtained is determined from the calculated values of tensile strength and elongation.

## 2. Discussion of the experiment results

The results of tests of rubber shells of flexible cable products will allow to solve one of the problems of this thesis and to determine the widest temperature range of materials and to develop recommendations for the selection of the most resistant polymeric materials to the effects of both high and low temperatures.

Test results of tensile strength for RSTM-2 and ESR after aging at high temperatures are presented in table 2.

Table 2 – Limit of tensile strength depending on the aging time

Aging time, hour	Tensile strength, N/mm <sup>2</sup>					
	EPR			RSTM-2		
	110°C	130°C	150°C	110°C	130°C	150°C
0	5,5	5,5	5,5	13,4	13,4	13,4
75	5,6	6,1	6,3	10,9	7,7	destruction
168	5,5	6,3	6,9	9,2	destruction	destruction
320	5,5	6,8	4,9	8,6	destruction	destruction

The graphs of the strength dependence on the aging time are presented in figures 4 and 5.

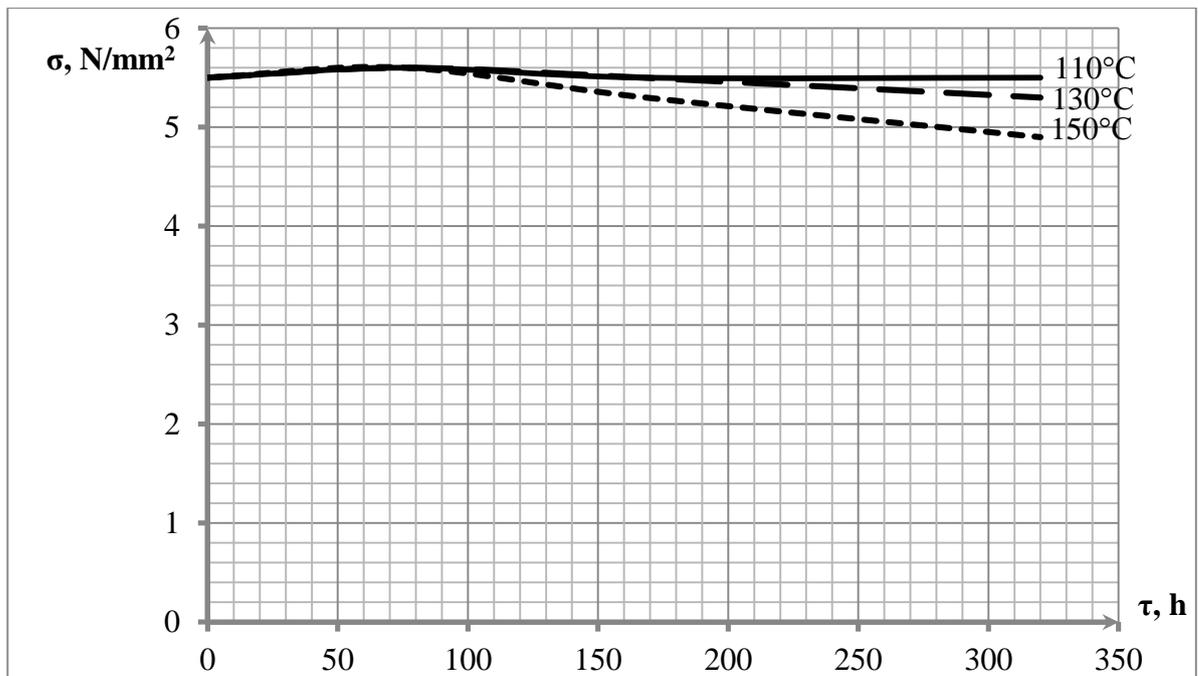


Figure 4 – Dependence of tensile strength  $\sigma$  on aging time  $\tau$  for EPR

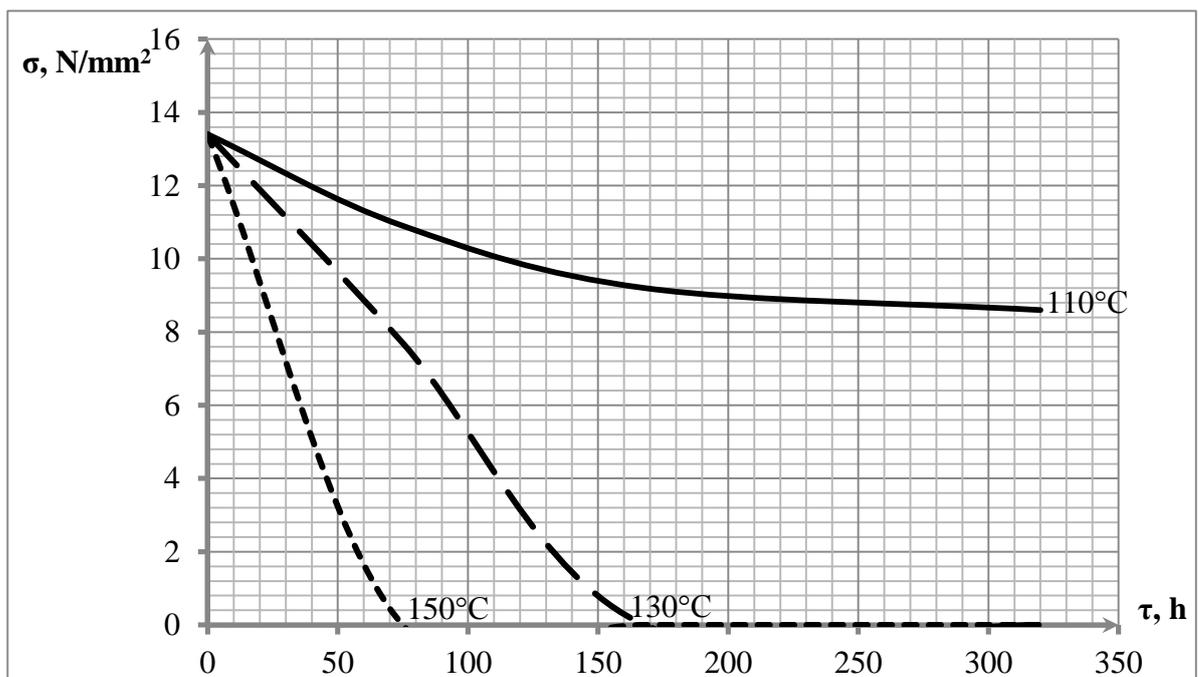


Figure 5 – Dependence of tensile strength  $\sigma$  from the aging time  $\tau$  for RSTM-2

The tensile strength of the rubber shell brand EPR is decreasing for each of the aging temperatures. The relative value of the strength change at 110 degrees was 0%, at 130 degrees-4%, at 150 degrees-11%. In absolute units, the change at 110 degrees was 0 MPa, at 130 degrees-1.3 MPa, at 150 degrees – 0.6 MPa.

The tensile strength for rubber sheath brand RSTM-2 is decreasing for all temperatures of aging. At the same time, only at an aging temperature of 110

degrees, the samples were tested. The relative value of the strength change was 36%, in absolute units the change was 4.8 MPa. The samples did not stand the test at 130 degrees and 150 degrees.

The value of the relative elongation of the sample at break for RSTM-2 and EPR, aging is carried out at elevated temperatures, are presented in table 3.

Table 3 – Elongation at break according to aging

Aging time, hour	Elongation, %					
	EPR			RSTM-2		
	110°C	130°C	150°C	110°C	130°C	150°C
0	348	348	348	552	552	552
75	327	319	293	347	277	destruction
168	304	290	263	315	destruction	destruction
320	302	264	85	290	destruction	destruction

The graphs of the dependence of the relative elongation on the aging time are presented in figures 6 and 7.

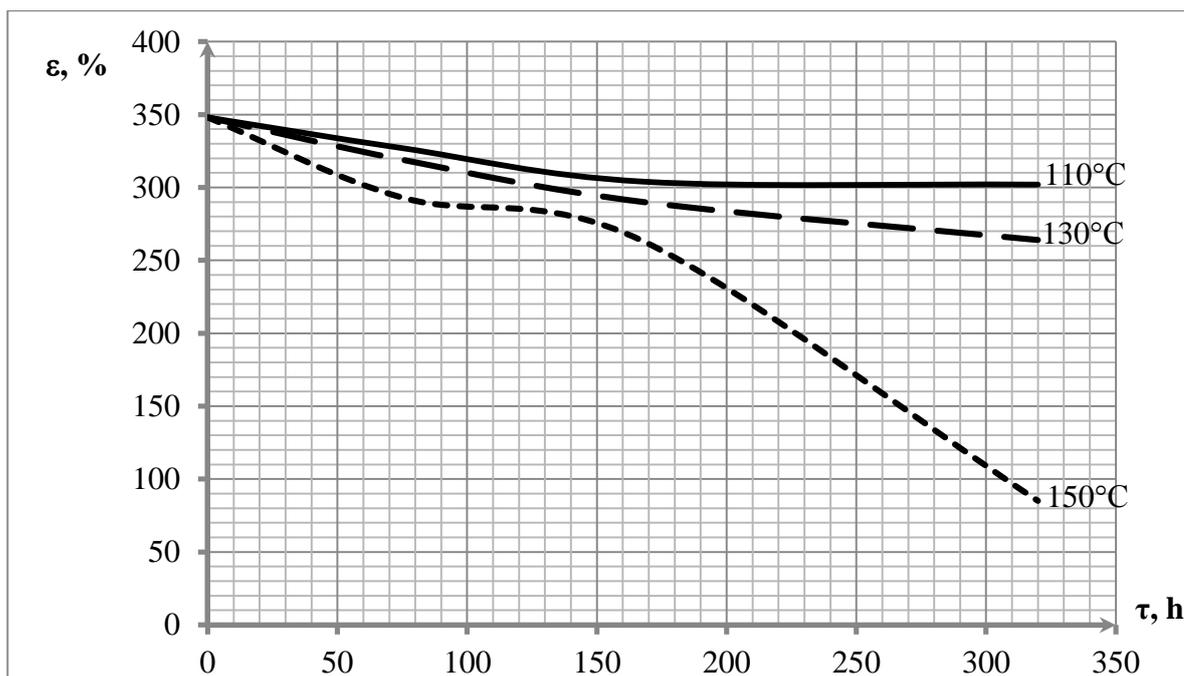


Figure 6 – Dependence of the relative elongation  $\varepsilon$  on the aging time  $\tau$  for EPR

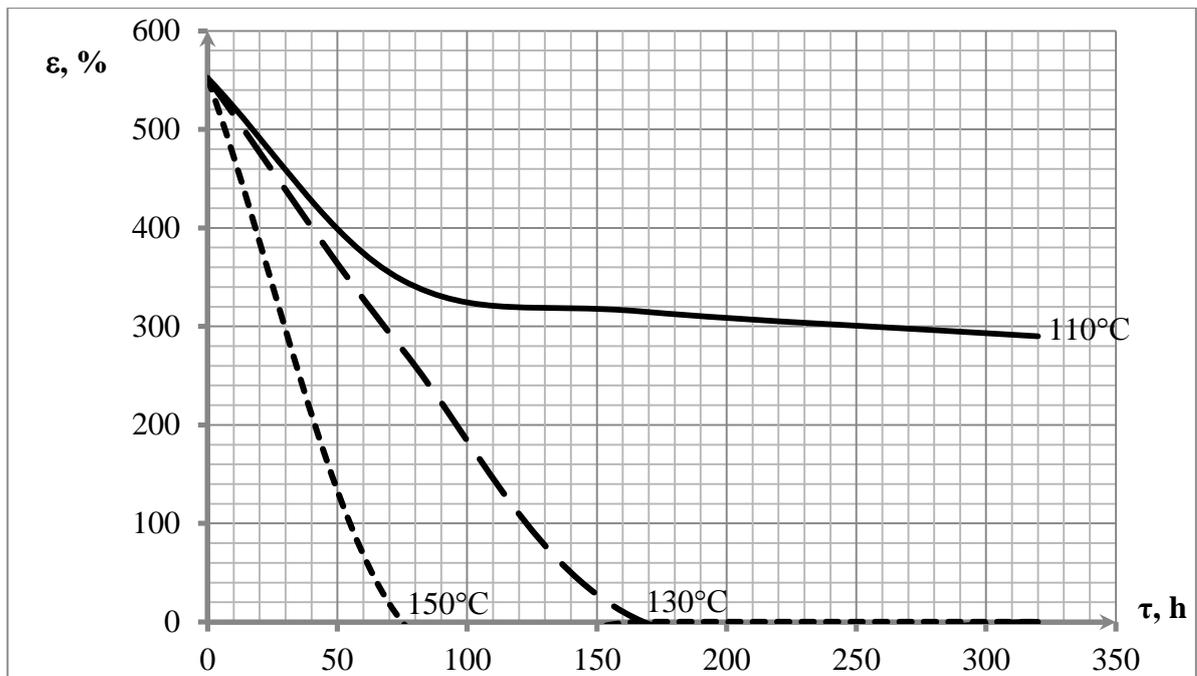


Figure 7 – Dependence of the relative elongation  $\varepsilon$  from the aging time  $\tau$  for RSTM-2

The relative elongation for the rubber shell of the EPR brand has a decreasing character. The relative value of the strength limit change at 110 degrees was 13%, at 130 degrees-24%, 150 degrees-76%. In absolute units, the change at 110 degrees was 46%, at 130 degrees-84, at 150 degrees-263%.

Elongation for rubber sheath brand RSTM-2 similarly, the tensile strength is decreasing for all temperatures of aging. The relative value of the strength limit change at 110 degrees was 47%, in absolute units the change was 262%.

Thermal aging of rubbers is considered because of oxidative destruction of rubber contained in the rubber. Oxidation of rubbers and rubbers is a chain radical process with degenerate branches. The thermal aging of most rubbers based on synthetic rubbers is characterized by a sharp structuring of the material, a decrease in elasticity and an increase in stiffness due to a sharp decrease in intermolecular interaction. This explains the decreasing nature of dependencies. However, rubber stamps RSTM-2 failed the test in contrast to EPR, because the hose rubber contains more double bonds of the rubber.

Test results of tensile strength for RSTM-2 and ESR tests which were carried out at low temperatures, presented in table 4.

Table 4 - Tensile strength according to temperature

T, °C	Tensile strength, N/mm <sup>2</sup>											
	EPR						RSTM-2					
	1	2	3	4	5	Average	1	2	3	4	5	Average
25	5,92	5,52	5,29	5,74	5,90	5,67	14,06	13,85	13,44	12,14	13,56	13,41
-40	21,78	21,75	21,02	21,52	21,77	21,57	29,42	27,96	26,21	27,87	27,98	27,89
-50	23,73	26,37	25,58	25,23	25,62	25,31	31,17	28,59	24,66	28,14	28,57	28,23
-60	34,82	34,26	35,65	34,91	34,89	34,91	29,19	35,74	23,8	29,58	29,17	29,50

The graph of the strength dependence on the test temperature is shown in figure 8.

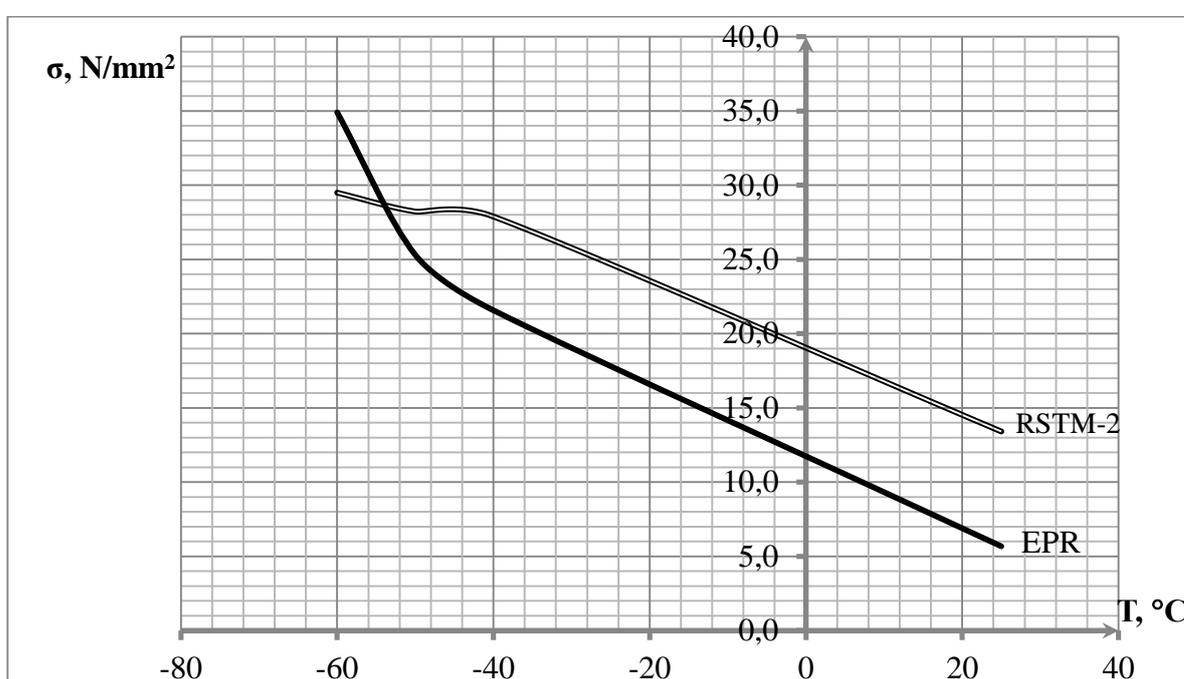


Figure 8 – Dependence of the tensile strength  $\sigma$  of the temperature of the test T

The tensile strength for the rubber sheath brand of EPR and RSTM-2 has the increasing character with decreasing temperature. Relative value changes of tensile strength for the EPR amounted to 516%, for RSTM-2 – 120%. In absolute terms the change for the EPR amounted to 29,24 MPa, RSTM-2 – 16,09 MPa.

The value of the relative elongation of the sample at break for RSTM-2 and ESR tests which were carried out at low temperatures, presented in table 9.

Table 5 – Elongation at break according to test temperature

T, °C	Elongation, %											
	EPR						RSTM-2					
	1	2	3	4	5	Average	1	2	3	4	5	Average
25	370	325	320	300	380	339	500	515	525	465	505	502
-40	200	185	173	186	181	185	498	498	507	465	485	492
-50	70	68	94	73	68	75	489	462	373	432	457	443
-60	20	21	22	21	23	21	353	349	309	333	346	336

The graph of the relative elongation versus the test temperature is shown in figure 9.

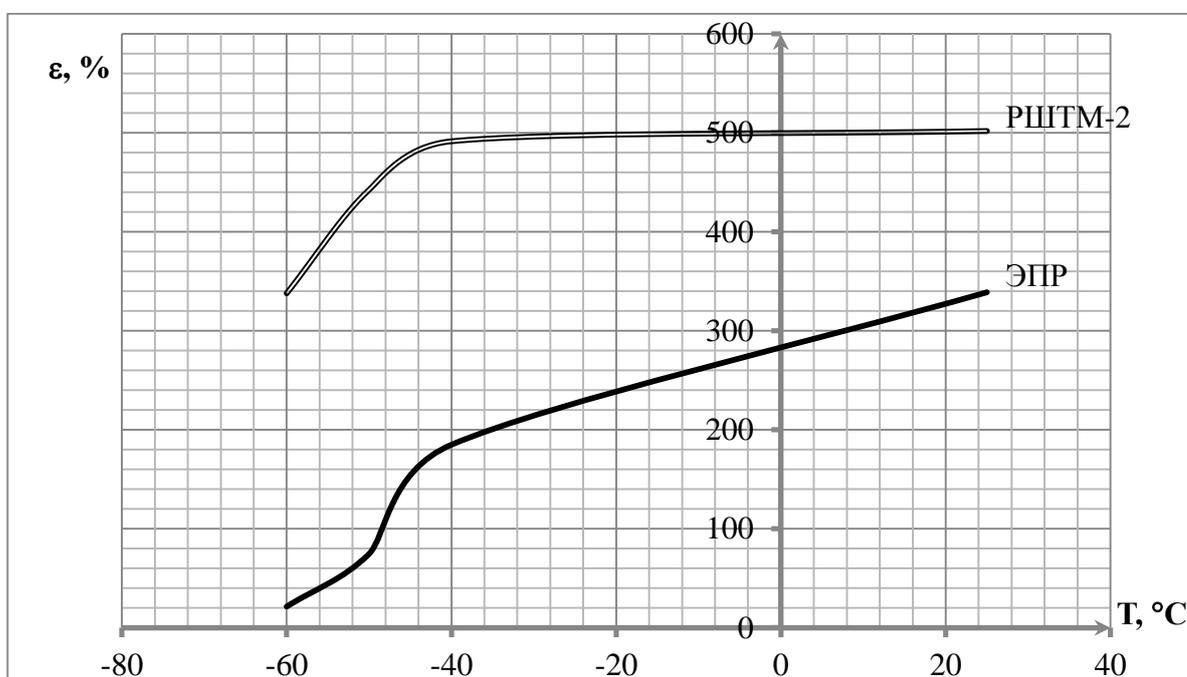


Figure 9 - Dependence of the elongation  $\epsilon$  on the test temperature T

Elongation for rubber-coated brand of EPR and RSTM-2 has a decreasing character with decreasing temperature. Relative value changes of the elongation for EPR was 94%, for RSTM-2 – 33%. In absolute terms, the change for the EPR amounted to 318% for RSTM-2 – 166%.

Under the influence of frost as the temperature decreases, the rubber gradually moves from the plastic to the solid state. At the same time, the energy of thermal motion is weakened, while the energy of intermolecular interactions is increased. Due to internal structural changes under the influence of low

temperatures, rubber resistance to tensile forces increases, tensile strength increases and, conversely, due to the loss of elastic properties, the relative elongation decreases. The processes of crystallization and glass transition of rubbers cause the loss of elastic properties of rubbers. The increase in tensile strength is due to the increased work to break the sample due to the solidification of the cable sheath.

## **CONCLUSION**

In this work, we have studied samples of cable products, the shell of which is made of hose and ethylene propylene rubber. As a result of the research it was found that ethylene propylene rubber has the widest temperature range, because the hose rubber has not been tested at elevated temperatures. Therefore, the use of ethylene propylene rubber as an insulation material for cable products that operate in conditions of elevated and low temperatures is more appropriate.

As for the economic side of the study, the work has calculated the necessary costs, including material costs, overhead costs, labor costs and contributions to extra-budgetary funds. In addition, the planning of this work was carried out and a linear work schedule (Gantt chart) was built, which allowed visualizing the duration of the entire thesis.

In the section of social responsibility, the analysis of dangerous and harmful factors that may arise in the performance of the experimental part of the work was carried out, measures were developed for fire safety, industrial sanitation and environmental protection, and the calculation of artificial lighting was carried out.