

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ЭЛАСТОМЕРОВ

УДК 621.315.616.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Аркадий Алексеевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицина Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех А.И.	ст. преподаватель		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Леонов А.П.	к.т.н., доцент		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Леонов А.П.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Самойлову Аркадию Алексеевичу

Тема работы:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ЭЛАСТОМЕРОВ
Утверждена приказом директора (дата, номер) 44-44/с от 13.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследуемый в работе материал – этиленпропиленовая резина Обзор отечественной и зарубежной литературы, техническое задание на выполнение работ.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Обзор литературы 2 Методическая часть 3 Экспериментальная часть 4 Раздел, выполненный на иностранном языке 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		—
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения социально-гуманитарных наук Спицина Л.Ю.	
Социальная ответственность	Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин Фех А.И.	
Иностранный язык	Доцент отделения иностранных языков Воробьева Виктория Владимировна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Литературный обзор		

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

Задание выдал руководитель/консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		
Ассистент ОЭЭ	Матери Татьяна Михайловна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Аркадий Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Самойлову Аркадию Алексеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электротехники и электроэнергетики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «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	Бюджет проекта (капитальные вложения): не более 500 000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	15% - доплаты и надбавки; 12% - дополнительная заработная плата; 30% - районный коэффициент; 16% - накладные расходы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	28% - отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Предпроектный анализ SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работы; - определение трудоёмкости работы; - разработка графика Ганта.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты на методы исследования; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы; - сравнение затрат на два метода исследования. Значение показателя интегральной ресурсоэффективности: не менее 3,5

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.09.2019 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицина Л.Ю.	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Аркадий Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Самойлову Аркадию Алексеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электротехники и электроэнергетики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ЭЛАСТОМЕРОВ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – разрывная машина Shimadzu
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). -ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	-Микроклимат в помещении; -Освещение рабочей зоны; -Воздействие повышенного напряжения; -Электробезопасность; -Воздействие подвижных частей машин и механизмов; -Возгорание.
3. Экологическая безопасность:	-Выделение токсичных веществ; -Наличие отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-выбор типичной ЧС – пожар. • разработка мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.09.2019 г
--	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Аркадий Алексеевич		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Реферат	9
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	10
Введение	11
1 Литературный обзор	12
1.1 Кабельные изделия на низкое и среднее напряжение	12
1.1.1 Классификация по области применения	12
1.1.2 Особенности конструкций, применяемые материалы	15
1.2 Полимерная изоляция и оболочка	18
1.2.1 Основные свойства	18
1.2.2 Тепловые свойства полимеров. Рабочие температуры	24
1.3 Старение полимерных материалов	28
1.3.1 Физика-химия процесса теплового старения этиленпропиленовой резины	31
1.3.2 Тепловые свойства этиленпропиленовой резины	36

1.4	Определение энергии активации	38
1.5	Определение срока службы кабельных изделий	43
2	Методическая часть	46
2.1	Определение объекта исследования	46
2.2	Определение методики испытаний	47
2.3	Оборудование для испытаний	50
3	Экспериментальная часть.....	52
3.1	Определение энергии активации	52
3.2	Определение срока службы	64
3.3	Определение нагревостойкости материала	66
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	68
4.1	Предпроектный анализ	68
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	68
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	69
4.1.3	SWOT-анализ.....	71
4.2	Инициация проекта	75
4.3	Планирование научно-исследовательской разработки	77
4.3.1	Структура работы в рамках научного исследования	77
4.3.2	Определение трудоёмкости выполнения проектировочных работ	78
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	80
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	82
4.4.1	Расчет материальных затрат	83
4.4.2	Расчёт затрат на оборудование	84
4.4.3	Полная заработная плата исполнителей исследования.....	85
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	87
4.4.5	Накладные расходы	88
4.4.6	Формирование сметы технического проекта	89
4.5	Оценка сравнительной эффективности исследования	90

4.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	92
5 Социальная ответственность	95
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	95
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	95
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	96
5.2 Производственная безопасность	96
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования и которые могут возникнуть при проведении исследований...	96
5.2.1.1 Микроклимат	98
5.2.1.2 Освещение.....	99
5.2.1.3 Защита от случайного прикосновения	100
5.2.1.4 Защитное заземление	100
5.2.1.5 Защита от воздействия движущихся частей машин и механизмов ...	103
5.2.1.6 Защита от возможного возгорания.....	104
5.3.1 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	105
5.4 Экологическая безопасность.....	107
5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	107
5.4.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	107
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	108
5.6 Выводы по разделу.....	109
Заключение	110
Список использованных источников	112
Приложение I.....	116
Приложение II.....	117

Реферат

Магистерская диссертация содержит страниц 129, рисунков 20, таблиц 34, использованных источников 51, 2 приложения. Ключевые слова: энергия активации, изоляция, резина, полимер, материал, метод, тепловое старение, испытание, энергия активации.

Объектом исследования является материал – этиленпропиленовая резина.

Целью работы является исследование теплостойкости этиленпропиленовой резины и рекомендации по её применению в качестве изоляции гибких кабельных изделий при повышенных значения температуры жилы.

В процессе исследования была рассчитана энергия активации этиленпропиленовой резины физико-механическим методом при термическом старении полимера.

В результате исследования были определены теплостойкость этиленпропиленовой резины, а также срок достижения ее критического состояния в процессе эксплуатации при различных значениях воздействующего фактора, сделаны выводы по применению в качестве изоляции/оболочки кабельных изделий.

Область применения: электроэнергетика и электротехника.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе были использованы ссылки на следующие обозначения и сокращения:

ДМА – динамический механический анализ.

ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия.

КЗ – короткое замыкание.

КИ – кабельное изделие.

ТГА – термогравиметрический анализ.

ТИ – температурный индекс.

ФММ – физико-механический метод.

ЭИМ – электроизоляционные материалы.

Введение

Актуальность выполняемой работы заключается в том, что с каждым годом к качеству производимой кабельной продукции предъявляются всё более высокие требования. Качественная изоляция кабельных изделий должна отличаться высокой электрической и механической прочностью, долговечностью, устойчивостью к старению и гибкостью, ведь известно, что 90% процентов отказов происходит именно из-за её повреждения. Для обеспечения данных требований необходимо использовать современные электроизоляционные материалы, с более высоким сроком службы и эксплуатационными характеристиками.

Целью работы является исследование теплостойкости этиленпропиленовой резины и рекомендации по её применению в качестве изоляции гибких кабельных изделий при повышенных значениях температуры жилы.

Для определения срока службы изоляционного материала будут проведены ускоренные испытания на тепловое старение. По их результатам будет определена энергия активации, знание которой поможет сократить процесс теплового старения аналогичных материалов с целью сокращения времени и материальных затрат на подтверждение различных показателей надёжности. В данной работе будет рассмотрен наиболее точный метод оценки энергии активации – с определением физико-механических характеристик материала (относительного удлинения и прочности), а также определены температурный индекс и срок службы этиленпропиленовой резины при постоянном воздействии разрушающего фактора (температуры).

1 Литературный обзор

1.1 Кабельные изделия на низкое и среднее напряжение

1.1.1 Классификация по области применения

По области применения кабельные изделия низкого и среднего напряжения можно условно разделить на две большие группы – изделия общего и специального применения.

К кабельным изделиям общего применения принято относить:

- силовые кабели с пропитанной бумажной, пластмассовой и резиновой изоляцией;
- кабели контрольные, систем управления, блокировки и сигнализации;
- монтажные кабели и провода;
- силовые кабели с пластмассовой изоляцией для нужд сельского хозяйства;
- провода с пластмассовой и резиновой изоляцией для распределения электроэнергии и выводов обмоток электрических машин;
- кабели местной и дальней связи, радиочастотные;
- кабели и провода для электротранспорта;
- гибкие кабели, провода и шнуры для присоединения к передвижным электроустановкам и бытовой аппаратуры.

Кабельные изделия (КИ) общего применения используются для обеспечения энергоснабжения промышленных предприятий, гражданских сооружений, бытовых нужд населения, а также для питания электротранспорта и обеспечения связи [2].

КИ специального применения отличаются от изделий общего применения наличием предъявляемых к ним особых требований, вызванных спецификой их использования в условиях особых климатических воздействий или использования в различных областях.

Кабельные изделия специального применения можно подразделить на следующие группы:

- ❖ шахтные кабели и провода;
- ❖ кабели для питания передвижных механизмов, используемые при землеройных и горных работах (экскаваторные кабели);
- ❖ кабели для нефтегазовой промышленности;
- ❖ судовые кабели и провода;
- ❖ нагревательные провода и кабели;
- ❖ подводные кабели;
- ❖ кабели и провода для геофизических работ;
- ❖ кабели и провода для космической и авиационной техники;
- ❖ специальные кабели для использования в различных областях науки [1, 2].

Шахтные провода и кабели используются для подачи питания к угольным комбайнам и другой специализированной технике, а также для систем освещения, сигнализации, управления и организации местной связи.

Кабели для питания передвижных механизмов применяются для питания экскаваторов и других специализированных землеройных электрических машин, которым свойственно перемещение по поверхности земли, рельеф которой неравномерен.

Кабели для нефтегазовой промышленности необходимы для обеспечения питания электродвигателей погружных насосов, применяемых для добычи нефти [3].

Судовые кабели и провода предназначены для цепей силового питания, освещения, связи, сигнализации и контроля на судах речного и морского флота, а также для различных плавучих сооружений [1].

Нагревательные провода и кабели применяются для обогрева жилых помещений, открытых площадок, водостоков, больших производственных объектов, агрегатов, тротуаров, дорог. В последние года нашли широкое применение в различных системах анти-обледенения [3].

Подводные кабели предназначены для сооружения магистральных линий связи, пересекающих достаточно большие водные преграды на своем пути.

Кабели и провода для геофизических работ применяются для исследования скважин (как нефтяных, так и газовых, угольных и др.). Эксплуатируются в скважинах в течение короткого промежутка времени. В качестве дополнительной функции можно выделить возможность измерения глубины скважины.

Кабели и провода для космической и авиационной техники предназначены для обеспечения монтажа бортовой сети, различных радиоэлектронных приборов и аппаратуры, а также для систем зажигания и запуска ракет, самолетов и различных космических аппаратов [1].

К специальным кабелям для различных отраслей науки и техники можно отнести кабели для электросварки, рентгеновские, аэродромные, прожекторные, излучающие радиочастотные, протяженные кабели (датчики температуры, термопарные кабели, медицинские, специализированные для вживления в человеческий организм), а также для питания приборов студий телецентров и др.

1.1.2 Особенности конструкций, применяемые материалы

Шахтные кабели (гибкие) эксплуатируются в достаточно тяжелых условиях и постоянно подвергаются различным динамическим нагрузкам: ударным и циклическим. ТПЖ таких кабелей выполняется из меди, имеет круглую форму и 5 класс по ГОСТ. Изоляция выполняется из трех типов резин: для нормальной эксплуатации (напряжение рабочее до 3 кВ включительно), влагостойкой (подбирается тип каучука, его содержание, тип наполнителя), высоковольтной (свыше 3 кВ, предъявляются особые требования к озоностойкости, влагостойкости, теплостойкости и электрической прочности). Экран из электропроводящих резин (с металлическим порошком, тех. углеродом или графитом), либо металлический (оплетка). Резины для оболочек – шланговые (могут быть двуслойные) [3].

Кабели для питания передвижных механизмов для питания экскаваторов и других специализированных землеройных электрических машин имеют схожую конструкцию с шахтными. Отличие заключается лишь в наличии дополнительного экрана по жиле (т.к. напряжение рабочее таких кабелей 6, 10, а в некоторых странах уже и 35 кВ), который служит для выравнивания электрического поля на поверхности жилы. В качестве изоляции наиболее перспективным материалом является резина на основе этиленпропиленового каучука, так как он является одним из самых универсальных и перспективных типов синтетических каучуков в мире на данный момент [4]. Его сопротивление высоким температурам, окислению, действию озона и погодному старению, обеспечивает перспективное использование в кабельной промышленности [5].

Кабели для нефтегазовой промышленности могут иметь изоляцию из полиэтилена, вулканизированного полиэтилена, термоэластопластов, эмали (только как дополнительную), фторполимеров, полипропилена и др. при использовании резиновой изоляции поверх накладываются бандажи в обязатель-

ном порядке. Кабели данного типа работают в специфических условиях эксплуатации и подвергаются перепадам температуры до 130 С°, рабочему гидростатическому давлению, газовому фактору и др., поэтому особое внимание уделяется наиболее уязвимым элементам кабеля, таким как изоляция и оболочка, а также методам их защиты от воздействия окружающей среды (использование броневых покровов). Для защиты оболочки, выполненной из того же самого материала, что и изоляция, либо материала, стойкого к действию скважинной жидкости, от повреждений броневыми покровами применяется специальное заполнение – подушка под броню, выполненная, в основном, из лент нетканого или термопластичного полотна, либо выполненной методом экструзии, что встречается редко. Броня, выполненная из стальных оцинкованных лент, либо из лент коррозионностойкой стали, имеет определенный профиль, например, для плоских кабелей – с противозадирными ребрами (в замок) [3].

К судовым кабелям и проводам предъявляется ряд специфических требований, обусловленных особенностями прокладки и эксплуатации: повышенная гибкость (это важно при прокладке в ограниченных по размеру помещениях), электрическая прочность изолирующих оболочек, негорючесть, стойкость к воздействию воды, масла и др [1]. ТПЖ – медная отоженная многопроволочная, заключена в изолирующую оболочку из резины, поливинилхлоридного пластиката и полиэтилена, стекловолокна и др. Наружные защитные оболочки таких кабелей изготавливают из маслобензостойкой, не распространяющей горения резины (широко используется этиленпропиленовая резина), шлангового поливинилхлоридного пластиката и др. Поверх изолирующей оболочки кабели и провода могут иметь металлические оболочки различного назначения [5].

Нагревательные провода и кабели имеют очень широкое разнообразие. Основными типами являются – резистивные, саморегулирующиеся, зональные и скин-кабели. Каждый из данных видов имеет свою структуру и принцип

действия, например, нагревательным элементом в саморегулирующихся кабелях является тепловыделяющая саморегулирующаяся пластиковая матрица, а в зональным – спирально наложенная проволока. Высокотемпературные кабели имеют изоляцию из стеклонитей, пропитанный кремнийорганическим композитом или кварцевых нитей, оболочку из стеклонитей или кварцевых нитей.

В качестве подводных кабелей в настоящее время широко используются оптические кабели связи, которые имеют значительно большую пропускную способность и расстояние между встроенными регенераторами, нежели коаксиальные кабели с полиэтиленовой изоляцией.

Кабели и провода для геофизических работ непрерывно эксплуатируются в скважине в течение 30-40 часов. Для кабелей наиболее опасны кислоты, сероводород, высокие концентрации CO_2 , а также различные механические нагрузки. ТПЖ может быть стальной, сталемедной, медной, или из сплава ХОТ (в состав входят кремний, медь, олово, титан). Материалы изоляции: полиэтилен низкого давления, сополимеры этилена с пропиленом (на температуры до $130\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также фторопласты (до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$). Броня – только круглые проволоки. Подушка под броню выполняются в виде обмотки лентами нетканого полотна или экструдированной пластмассовой оболочки [1].

Кабели и провода для космической и авиационной техники имеют очень высокие требования по массе, негорючести, стойкости к вакууму, вибрациям, излучениям и др. Для повышения нагревостойкости изоляции используются такие материалы, как: теплостойкие резины и фторопласты. ТПЖ упрочненные и имеют защитные покровы в виде посеребрения или лужения.

Специальные кабели для использования в различных областях науки имеют специфические конструкции, в которых возможно использование современные электроизоляционных материалов, позволяющих увеличить срок службы кабельных изделий (например, изоляция из теплостойких резин с повышенной гибкостью – ЭПР) [5].

1.2 Полимерная изоляция и оболочка

1.2.1 Основные свойства

Согласно [6] полимеры – это высокомолекулярные соединения, молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа одинаковых группировок, соединенных химическими связями.

Полимеры очень разнообразны в отношении состава, свойств и строения. По одной из многочисленных классификаций их принято подразделять на природные, искусственные и синтетические.

Природные полимеры, довольно часто, обладающие биологической активностью, выделяют в группу биополимеров. Искусственные полимеры получают из природных полимеров с помощью химических преобразований, не затронувших (или же мало затронувших) основную цепь макромолекул. Примером природного полимера может служить целлюлоза, а искусственными – вискоза, нитроцеллюлоза. Природный полимер – натуральный каучук, искусственный полимерный материал – резина. Синтетические полимеры – это высокомолекулярные вещества, полученные синтезом из низкомолекулярных веществ, которые носят название мономеров. Синтетических полимеров на данный момент очень много, гораздо больше, чем природных и искусственных, каждый из которых состоит из большого числа полимеров конкретной химической структуры: полиэферы, полиолефины, полиуретаны, аминопласты и прочие, и прочие [7].

Если рассматривать еще одну классификацию полимеров, то по методам переработки их делят на две большие группы: термопласты и реактопласты. Разница между ними вполне очевидна: термопласты способны размягчаться (плавиться) при нагреве и могут быть в этом состоянии сформованы в изделия. К термопластам относятся, например, полиэтилен и поливинилхлорид. Реактопласты, в отличие от термопластов, превращаются в высокомолекулярное

вещество непосредственно при формовании изделия, то есть обычно представляют собой вещества низкомолекулярные (мономеры или олигомеры), но иногда это тоже полимеры, как, например, непереломные полиэфиры или каучук [7].

Полимеры могут находиться в четырех физических состояниях: кристаллическом, стеклообразном, высокоэластичном и вязкотекучем. Физико-механические свойства полимеров зависят от их структуры и физического состояния, которое в зависимости от температуры может быть стеклообразным, высокоэластичным и вязкотекучим. Все три состояния можно наблюдать у образца аморфного термопласта (винипласта), если подвергнуть его нагреву, периодически нагружать сжимающей нагрузкой, соблюдая постоянство нагрузки и времени ее воздействия на образец при различной температуре, и измерять его деформацию. В результате данного опыта можно получить термомеханическую кривую, отражающую зависимость деформации образца от температуры его нагрева (смотри рисунок 1).

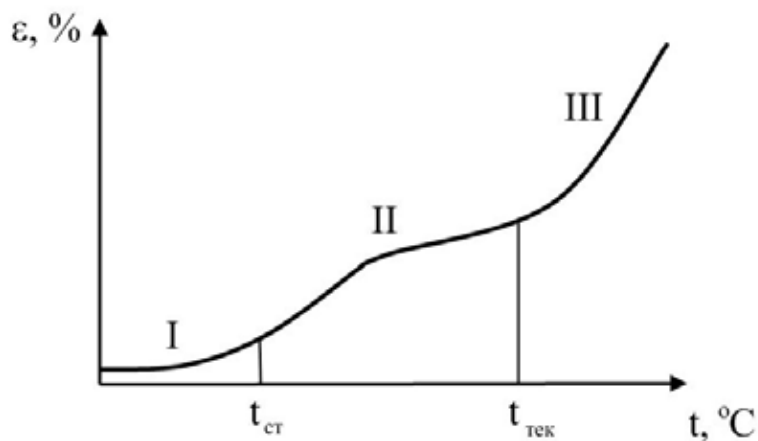


Рисунок 1 – Термомеханическая кривая аморфного полимерного материала: I – зона стеклообразного состояния; II – зона высокоэластичного состояния; III – зона вязкотекучего состояния; $t_{\text{ст}}$ – температура стеклования; $t_{\text{тек}}$ – температура текучести

В стеклообразном состоянии полимерный материал сопротивляется воздействию температуры, а его деформация является, в основном, упругой, т. е.

после снятия нагрузки деформация быстро исчезает. При этом атомы, входящие в состав молекулярной цепи, совершают колебательное движение около положения равновесия, т. е. движения звеньев и перемещения макромолекул не происходит.

Примером стеклообразного состояния полимера при температуре 20 °С может служить полистирол (материал, из которого изготавливают большое количество корпусных деталей радиотехнического назначения), высокоэластического состояния — каучук, вязкотекучего — полиизобутилен.

Области применения электроизоляционных материалов определяются их свойствами. При этом учитываются не только их электрические свойства, но и механические, физические, химические, тепловые и другие.

Из основных электрических характеристик электроизоляционных материалов можно выделить: удельное объемное и удельное поверхностное сопротивление, температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, тангенс угла диэлектрических потерь (потери мощности в диэлектрике при приложении к нему переменного тока), относительную диэлектрическую проницаемость и электрическую прочность материала (значение напряжённости поля, при которой происходит пробой).

Механические свойства полимеров можно разделить на два вида: прочностные и деформационные. Прочностными свойствами характеризуют способность материала сопротивляться разрушению. К прочностным свойствам относят следующие характеристики: предел прочности (значение механического напряжения, выше которого происходит разрушение), предел текучести (характеризует то напряжение, при котором деформации продолжают увеличиваться, но уже без роста нагрузки), разрывное напряжение (наибольшее усилие, испытываемое материалом к моменту его разрыва) и др. Деформационные свойства полимера характеризуют его способность деформироваться под воздействием на него механических нагрузок. Величина относительного удли-

нения ε относится к деформационным свойствам и определяется как отношения приращения длины растянутого образца к их первоначальной длине образца.

Для оценки деформационных характеристик полимеров пользуются зависимостями механического напряжения от величины деформации (Рисунок 2).

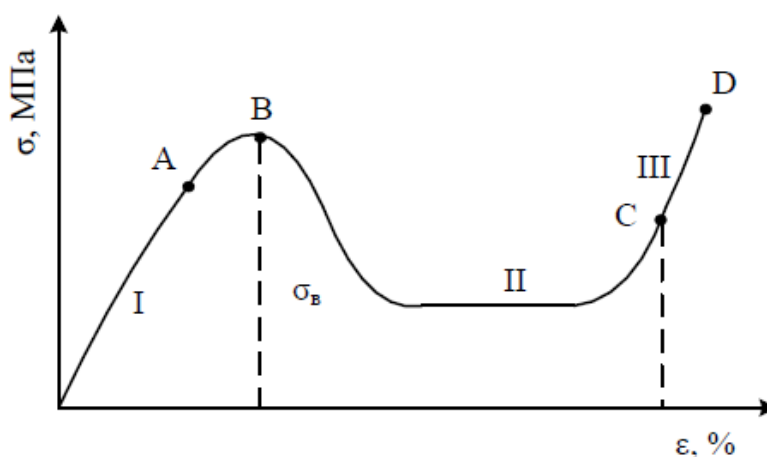


Рисунок 2 – Зависимость механического напряжения от величины деформации для стеклообразного полимера

Первая область на рисунке 2 для аморфного полимера носит прямолинейный характер – полимер сначала деформируется упруго (практически сохраняет свою первоначальную форму), здесь справедлив закон Гука ($\sigma \sim \varepsilon$). С точки «А» имеет начало второй стадии процесса деформации, до точки «В» происходит сильное растяжение полимера, при этом прочность незначительно увеличивается. Деформацию полимера на участке «А-В» называют «холодным течением». В точке «В» напряжение растяжения начинает несколько снижаться, при этом образец утончается и возникает «шейка». Именно за счёт её удлинения происходит дальнейшее растяжение образца. Толщина «шейки» на второй стадии не меняется. В точке «С» весь образец переходит в «шейку» и следует третья стадия деформации, которая называется растяжением. В точке «D» происходит разрушение образца [8].

Из вышеописанного можно сделать вывод о том, что для первой и третьей стадий характерна небольшая обратимая упругая деформация полимерного материала. Величина той деформации, которая достигается на второй стадии, сохраняется после снятия нагрузки. Однако, если образец полимерного материала с образовавшейся «шейкой» подвергнуть, например, набуханию или нагреву, то она постепенно исчезнет и образец обретет свою первоначальную форму, это говорит о том, что деформация на второй стадии высокоэластична.

Снижение величины напряжения в точке «А» можно объяснить релаксационными явлениями. На третьем же участке происходит переход полимера в ориентационное состояние, после чего значительно возрастает уровень межмолекулярного взаимодействия в системе, то есть растет плотность физической сетки за счет сближения полимерных цепей.

Нельзя не сказать о том, что свойства полимеров существенно зависят от их структуры. В связи с этим целесообразно рассмотреть поведение кристаллического полимера при воздействии на него силового поля. На рисунке 3 приведена диаграмма растяжения, характерная для кристаллического полимера.

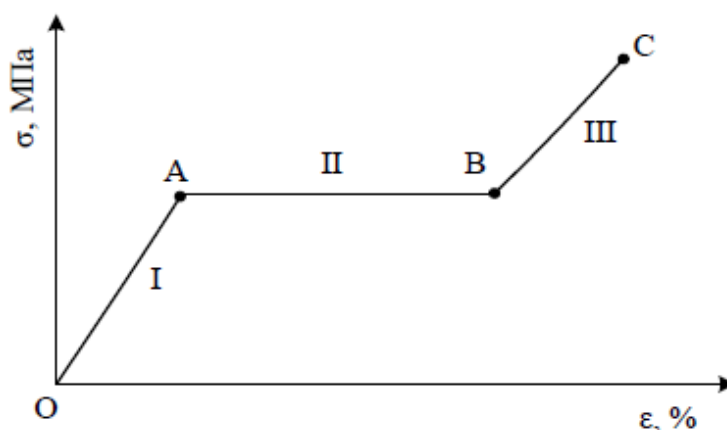


Рисунок 3 – Кривая растяжения кристаллического полимера

Как видно из рисунка 3, участок «OA» прямолинеен и характеризует деформацию полимерного материала без заметной перестройки его структуры.

К концу первого участка величина деформации может достигать до 10-15 %. При увеличении напряжения наступает момент, когда образец сужается и возникает «шейка». С ростом деформации она постепенно распространяется по всей длине образца, причем напряжение при этом в образце не изменяется (участок второй на рисунке 3). На второй стадии деформации полимера в образце происходит изменение его структуры, связано это с развитием процесса рекристаллизации – процесса, при котором происходит дробление одних кристаллов и создание других, ориентированных в направлении растяжения, т.е. происходит так называемый фазовый переход.

Третья стадия (участок «ВС») соответствует деформации полностью ориентированного кристаллического полимера. Положение точки С (точка разрыва) очень существенно зависит от молекулярной массы полимера.

У кристаллических и аморфных полимеров наблюдается два вида разрушения – хрупкий и пластический. При хрупком виде разрушение происходит без каких-либо заметных остаточных деформаций, связанных с вязким (для аморфных) или пластическим (для кристаллических полимеров) течением вещества. Пластическим принято называть такой вид разрыва, при котором разрушение образца наступает после существенных пластических деформаций, и, в частности, после образования «шейки». Пластическая деформация наблюдается в том случае, когда предел текучести твердого тела ниже предела его «хрупкой» прочности.

Один и тот же полимерный материал в зависимости от температуры обнаруживает как хрупкое, так и пластическое разрушение. Хрупкое разрушение происходит в результате отрыва небольших участков полимера, либо в результате их скалывания. При этом вид разрушения определяется природой твердого тела, а также характером напряженного состояния [8].

К важным свойствам полимеров относится также их радиационная стойкость. Под действием ионизирующих излучений в полимерах происходят

ионизация и возбуждение, которые сопровождаются разрывом химической связи и образованием свободных радикалов.

Свойство абляционной стойкости характеризует унос некоторой массы вещества с поверхности твердого тела обтекающим эту поверхность потоком горячих газов, определяется устойчивостью материала к механической, термической и термоокислительной деструкции.

Твердость полимера говорит о способности сопротивляться вдавливанию в него других тел, она характеризует механические свойства поверхности материала. Так же полимерам присущи такие свойства, как упругость, пластичность и многие другие [9, 10].

1.2.2 Тепловые свойства полимеров. Рабочие температуры

К основным тепловым свойствам электроизоляционных полимерных материалов можно отнести жаростойкость, теплостойкость и нагревостойкость.

Жаростойкость – это способность полимерного материала выдерживать без возгорания и обугливания воздействие высокой температуры источника тепла.

Термостойкость – это способность полимерного материала сохранять неизменным свое химическое строение при повышении температуры.

Нагревостойкость – это способность электроизоляционного материала, или конструкции выдерживать действие высокой температуры определенного уровня в течение времени, соизмеримого со сроком эксплуатации, без её недопустимого ухудшения [9].

Поскольку, как для систем изоляции, так и для электроизоляционных материалов доминирующим фактором старения является температура, для оценки стойкости электрической изоляции электротехнических изделий к воздействию температуры приняты классы нагревостойкости.

Понятие класс нагревостойкости применим для конструкций электрической изоляции. Для материалов используется понятие температурный индекс (ТИ). Температурный индекс – это температура, при которой ресурс (срок службы) материала равен заданному.

В таблице 1 указаны все их обозначения согласно ГОСТ 8865-93 (МЭК 85-84).

Таблица 1 – Классы нагревостойкости электроизоляционных материалов

Класс нагревостойкости	Y	A	E	B	F	H	200	220	250
Максимальная рабочая температура, °C	90	105	120	130	155	180	200	220	250

Согласно ГОСТ 8865-93 (МЭК 85-84) температура выше 250 °C должна повышаться на интервал в 25 °C.

К классу «Y» относят материалы в основе которых присутствует шелк, целлюлозы, поливинилхлорид, и не пропитанные и не погруженные в жидкий диэлектрик.

К классу «A» относят органические волокнистые материалы, а также материалы, пропитанные компаундами, лаками или погруженные в жидкий диэлектрик.

К классу «E» относят пластмассы с термореактивным связующим и органическим наполнителем. К ним относятся эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиуретановые и полиэфирные компаунды и смолы, полиэтилентерефталатные пленки, текстолит, слоистые пластики-гетинакс и др. Таким образом, первые три класса – преимущественно органические ЭИМ.

К классу «B» относят аналогичные материалы, что и материалы «E» класса, но в материалах класса «B» содержатся компоненты неорганического

происхождения. К ним относятся стеклотекстолиты на термореактивных смолах, эпоксидные компаунды с неорганическими наполнителями, большинство миканитов, стеклоткани и. т.д.

К классу «F» относят материалы «B» класса, в которых присутствуют органические связующие и пропитывающие материалы, имеющие повышенную нагревостойкость: эпоксидные, кремнийорганические и другие.

К классу «H» относят материалы, в которых использованы кремнийорганические смолы повышенной нагревостойкости [3, 5].

Температура стеклования – это важная эксплуатационная характеристика полимерного материала, так как она соответствует верхней температурной границе теплостойкости пластмасс и нижней границе морозостойкости каучуков и резин. Низкая температура стеклования каучука подтверждает отсутствие в нем кристаллической фазы.

При длительном воздействии на электроизоляционный материал повышенной, но еще не приводящей к разрушению его температуры (в течение короткого времени) могут наблюдаться негативные изменения за счет медленно протекающих химических и других процессов – тепловое старение изоляции. Скорость протекания теплового старения изоляции определяется термической и термоокислительной деструкцией молекул, из которых состоит электроизоляционный материал. Деструкция – это реакция, в ходе которой, происходит разрыв химической связи в главной цепи макромолекулы.

Зависимость величин, которая описывает процессы кинетики и термодинамики старения полимеров и композитов на основе полимеров носит название уравнение Аррениуса и выглядит следующим образом [1]:

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{R \cdot T},$$

где k – константа скорости процесса, E_a – энергия активации процесса, T – абсолютная температура, R – универсальная газовая постоянная.

После логарифмирования данного выражения получаем:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}.$$

Даже при небольшом превышении рабочей температуры наблюдается ускоренный процесс теплового старения изоляции, следовательно, и износ.

Эмпирическим путем установлено, что при повышении рабочей температуры электроизоляционного материала на 10°C, срок его службы уменьшается приблизительно вдвое. Под действием повышенной температуры электроизоляционные материалы могут разрушаться, менять свои химические свойства, возможны их пластические деформации и другие негативные эффекты [1].

В таблице 2 представлены интервалы рабочих температур для наиболее используемых (не только в электротехнической области) пластмасс.

Таблица 2 – Интервалы рабочих температур пластмасс

Пластмасса	Интервал рабочих температур, °C
ПЭ высокого давления	-70...+70
ПЭ низкого давления	-70...+80
Полистирол	-40...+65
Поливинилхлорид	-40...+70
Полипропилен	-20...+130

Обычно для нормальных резин допустимую максимальную температуру принимают равной 55°C, для резин с повышенной нагревостойкостью температуры достигают значения в 65°C. Для хороших тиурамовых резин рабочая температура может составлять до 75°C, а для резин на основе этиленпропиленового, бутилкаучука – 90°C. Для резин на основе кремнийорганического каучука – выше 90°C [3, 11, 12]. В таблице 3 указаны сравнительные характеристики кабелей с ПВХ, СПЭ и ЭПР изоляцией [7, 8].

Таблица 3 – Сравнительные характеристики кабелей с ПВХ, СПЭ и ЭПР изоляцией

Свойство	ЭПР	СПЭ	ПВХ
Длительно допустимая температура нагрева жилы при эксплуатации, °С	90	90	70
Длительно допустимая температура нагрева жилы в режиме перегрузки, °С	130	130	90
Максимально допустимая температура нагрева жилы при КЗ, °С	250	250	160
Гибкость	хорошая	средняя	средняя
Электрическая прочность, кВ/мм	до 60	до 80	до 35
Тангенс диэлектрических потерь	0,002	0,0004	0,01
Влагостойкость	Хорошая	Средняя	Плохая

1.3 Старение полимерных материалов

При хранении и переработке полимерных материалов, а также при эксплуатации они подвергаются воздействию различных факторов – света, тепла, радиации, влаги, кислорода, агрессивных химических агентов, различных механических нагрузок. Эти факторы, действуя раздельно или в совокупности, вызывают в полимерах развитие необратимых химических реакций двух типов. Деструкции, когда происходит разрыв связей в основной цепи макромолекул, и структурирования, когда происходит сшивание цепей. Изменение молекулярной структуры приводит к изменениям в свойствах полимерного материала; теряется эластичность, повышается жесткость и хрупкость, снижается механическая прочность, ухудшаются диэлектрические показатели, изменяется цвет, гладкая поверхность становится шероховатой, и т.д. Изменения свойств полимеров и изделий подобного рода называют старением. Главная

причина старения полимеров — окисление их молекулярным кислородом, которое особенно быстро протекает при повышенных температурах, например, при переработке полимерных материалов. Окисление часто ускоряется и облегчается светом, примесями металлов переменной валентности, которые могут присутствовать в полимере из-за коррозии аппаратуры или неполного удаления катализатора из него после окончания синтеза. По типу активатора и основного агента, вызывающих разрушение полимеров, различают следующие виды старения: тепловое, термоокислительное, световое, атмосферное (озонное), радиационное и старение под влиянием механических нагрузок (усталость). Термическая деструкция — это процесс разрушения макромолекул под влиянием повышенных температур. При термической деструкции одни полимеры разрушаются с образованием коротких цепей различного строения (полиэтилен, полипропилен), другие с образованием мономера [8].

Реакции деполимеризации подвержены полимеры, в цепях которых содержится третичный или четвертичный атом углерода. Деполимеризация, являясь видом старения полимеров, может намеренно применяться для утилизации отходов термопластов с целью получения мономеров и возвращения их в стадию синтеза полимера.

Термоокислительная деструкция — это процесс разрушения макромолекул при совместном действии на полимеры повышенных температур и кислорода. Присутствие кислорода существенно снижает стойкость полимеров к действию тепла [7].

Первичными продуктами термоокисления являются полимерные гидроперекиси, которые при распаде образуют свободные радикалы, вследствие чего процесс развивается по цепному механизму и является автокаталитическим. Полимеры, макромолекулы которых не содержат С-С-связей, более устойчивы к термоокислительной деструкции. Это объясняется легкостью прямого присоединения кислорода к С=С-связям и образованием очень неустойчивых напряженных циклических перекисей. Радиационная деструкция

происходит при воздействии на полимеры гамма-лучей, альфа-частиц, нейтронов. Энергия проникающей радиации значительно превосходит энергию химических связей в макромолекулах. Возникающие при этом свободные радикалы «захватываются» полимером и существуют в нем очень долго, разрушая его во времени.

Деструктировать полимер может и под действием механических напряжений. Химическая деструкция представляет собой разрушение макромолекул при действии химических агентов. Она характерна для многих гетероцепных полимеров, содержащих в основной цепи группы, способные к химическим превращениям. Глубина деструкции зависит от природы и количества низкомолекулярного реагента, условий его воздействия.

Скорость старения зависит от чувствительности полимера к механическому напряжению, развивающемуся в полимерах при их переработке и в условиях эксплуатации изделий и атмосферных факторах – кислород, свет, озон влага.

Для полимеров характерна зависимость прочности от температуры и времени. При одновременном воздействии механических нагрузок и температуры разрушение полимеров нужно рассматривать с точки зрения термофлуктуационной теории.

Время от приложения нагрузки до разрушения определяются по формуле:

$$t = t_o \cdot e^{\left(\frac{E_a - \gamma\sigma}{RT}\right)},$$

где t_o – постоянная, E_a – энергия активации элементарного акта процесса разрушения в отсутствии механического разрушения, σ – механическое напряжение, γ – структурно-чувствительный коэффициент, зависящий от структуры полимера [12].

Физический смысл вышеприведённого уравнения: в результате накопления разрывов межатомных связей полимера, наблюдается разрушение матери-

ала. Энергия активации разрывов межатомных связей уменьшается на величину $\gamma \cdot \sigma$ под влиянием механических воздействующих напряжений. Значение E_a равно энергии диссоциации межатомных связей. Энергия активации может быть рассчитана из независимых друг от друга измерений. Таким образом, для вычисления долговечности материала при заданных нагрузке и температуре необходимо определить только величину структурно-чувствительного коэффициента [12].

1.3.1 Физика-химия процесса теплового старения этиленпропиленовой резины

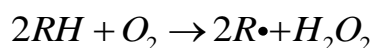
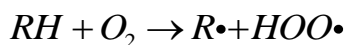
При температурах выше 70°C в большинстве резин в закрытой атмосфере наблюдается деструкция полимерных молекул, в результате чего существенно снижаются такие свойства, как прочность и эластичность. С увеличением температуры и времени старения резина становится хрупкой и твердой и, в конечном итоге, происходит ее разрушение. Основной причиной старения является окисление каучука, т. е. присоединение кислорода по месту двойных связей в каучуке, в результате чего его молекулы разрываются на части и укорачиваются [13, 14].

Химические реакции окисления эластомеров во многом схожи с соответствующими реакциями окисления низкомолекулярных углеводородов. В настоящее время установлено, что окисление полимеров, и в частности, эластомеров, протекает по механизму цепных свободно-радикальных реакций с вырожденным разветвлением. Наряду с присоединением кислорода происходит отщепление летучих продуктов окисления: диоксида углерода, формальдегида, воды и пероксида водорода. В нелетучих продуктах окисления каучука (рассматривается в данном случае натуральный) содержатся карбонильные, эфирные, эпоксидные и пероксидные группы. Аналогичные по своему составу

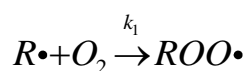
летучие и нелетучие соединения были найдены при окислении других эластомеров.

Согласно теории Семенова Н.Н. процессы, протекающие при окислении эластомеров, в общем виде можно представить в виде следующей схемы [12].

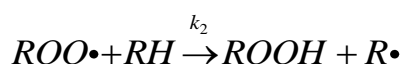
Инициирование, состоящее в образовании радикалов:



Образовавшийся свободный радикал присоединяет кислород с большой скоростью, так как энергия активации этой реакции близка к нулю: развитие реакционной цепи:

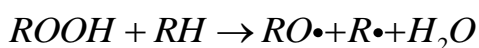
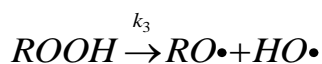


Радикал $ROO\cdot$ участвует в реакции передачи цепи, отрывая водород от молекулы каучука, как показано ниже:

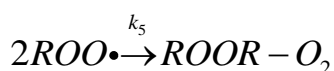
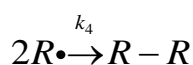


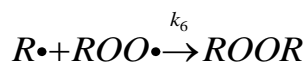
Образование трехмерной пространственной сетки в процессе вулканизации каучуков оказывает значительное влияние на кинетику окисления и характер структурных изменений вулканизатов в процессе термического старения. Отмечено влияние вторичных реакций полисульфидных связей на модификацию макромолекул каучука. Поперечные связи также оказывают влияние на окисление макромолекул.

Этап вырожденного разветвления цепи:



Обрыв цепи:





Обрыв реакционной цепи приводит взаимодействию радикалов друг с другом (в результате рекомбинации или диспропорционирования) и образованию неактивных веществ.

Большинство ингредиентов, из которых состоит полимерная изоляция, в той или иной степени влияют на процесс старения. Технический углерод и другие наполнители адсорбируют противостарители на своей поверхности, уменьшают их концентрацию в каучуке и, следовательно, ускоряют старение. Сильно окисленные сажи могут быть катализаторами окисления. Малоокисленные (печные, термические) сажи, как правило, замедляют окисление всех типов каучуков. Сера и ускорители вулканизации, являясь химически активными веществами, вовлекаются в окислительный процесс и оказывают влияние на скорость окисления и характер структурных изменений каучуков [15].

При тепловом старении резин, которое протекает при повышенных температурах, необратимо изменяются практически все основные физико-механические свойства. Изменение этих свойств зависит от соотношения процессов структурирования и деструкции.

Для различных типов каучука в зависимости от времени старения изменение механических характеристик достаточно разнообразно. На рисунке 4 изображено влияние продолжительности теплового старения на временное сопротивление (а) и относительное удлинение (б) резин на основе натурального (1), бутадиенстирольного (2) и хлоропренового (3) каучуков [15].

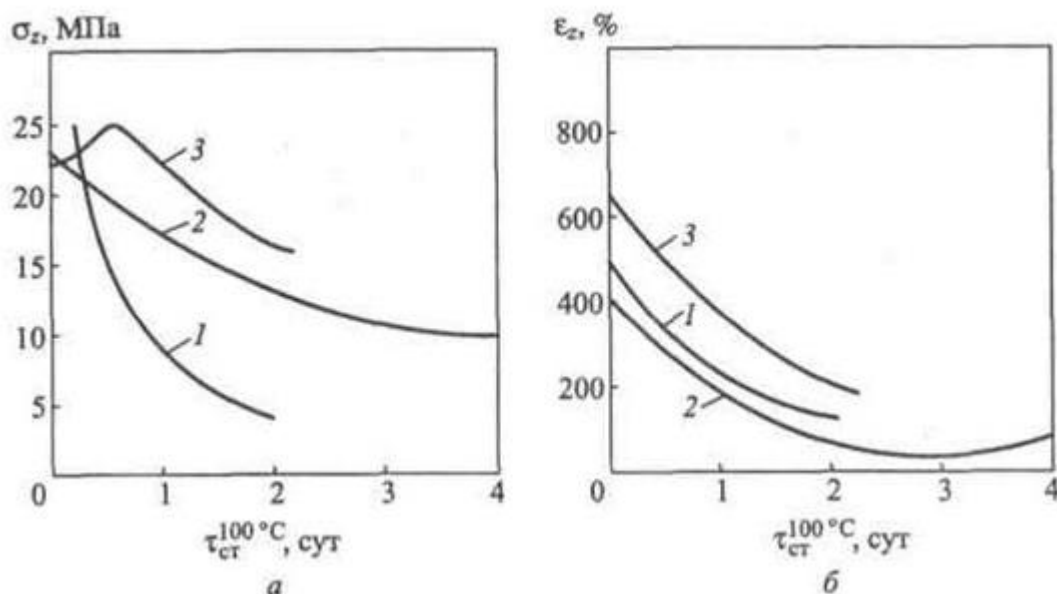


Рисунок 4 – влияние продолжительности теплового старения на временное сопротивление (а) и относительное удлинение (б) резин на основе натурального (1), бутадиенстирольного (2) и хлоропренового (3) каучуков

При тепловом старении большинства резин на основе синтетических каучуков преимущественно происходит структурирование, что сопровождается снижением эластичности и повышением жесткости [16].

Для повышения термической устойчивости эластомеров в них вводятся антиоксиданты [17].

Замедление процесса окисления, исходя из механизма реакции, может идти по двум направлениям: ингибирование инициирования и ингибирование развития и разветвления цепи. В соответствии с этим противостарители (стабилизаторы, ингибиторы, антиоксиданты) могут быть подразделены на две большие группы: противостарители, ингибирующие инициирование (превентивные противостарители) за счет разложения гидропероксидов, поглощения светового излучения, дезактивации ионов металлов переменной валентности, и противостарители, обрывающие цепи.

Активность ингибиторов зависит от их строения. Многие соединения (меркаптаны, сульфиды, дитиокарбаматы, дитиофосфаты, эфиры фосфористой кислоты и др.) могут ингибировать окисление за счет взаимодействия с

гидропероксидами с образованием неактивных продуктов и являются превентивными противостарителями.

Наиболее распространенными противостарителями, которые обрывают цепи, связывая пероксидные радикалы, являются фенолы и амины, способные легко отдавать водород [17, 18].

Наилучшим противостарителем по защите резин от теплового и озонного старения, а также от утомления является диафен ФП, однако он отличается сравнительно высокой летучестью и легко экстрагируется из резин водой (особенно подкисленной). С увеличением величины алкильной группы заместителя R_2 до 6 атомов углерода увеличивается растворимость вторичных ароматических диаминов в полимерах, повышается устойчивость к вымыванию водой, уменьшается летучесть и токсичность.

Вторичные ароматические диамины значительно активируют ускорители серной вулканизации и могут вызвать подвулканизацию резиновых смесей. Наиболее активны в этом отношении производные с алкильными заместителями у атомов азота. К числу эффективных противостарителей относят замещенные фенолы.

Так же, как и для аминов, эффективность действия замещенных фенолов определяется способностью взаимодействовать с полимерными радикалами и определяется легкостью отрыва атома водорода фенольной группы и стабильностью образовавшегося радикала.

Применение фенолов как противостарителей было основано на наблюдениях за поведением НК, высушенного в дыму костра. Такой каучук обладает высоким сопротивлением старению. Известно, что при «копчении» в каучуки попадает большое количество фенолов и крезолов. Фенолы, как правило, менее эффективные стабилизаторы, чем вторичные моно- и диамины, но они не изменяют окраски вулканизаторов при старении и поэтому широко применяются как неокрашивающие противостарители в цветных резинах [17].

1.3.2 Тепловые свойства этиленпропиленовой резины

Этиленпропиленовый каучук (ЭПР) – это электро- и атмосферостойкий каучук, который устойчив к воздействию озона, солнечного света, химических веществ (разбавленные кислоты, щелочи и полярные растворители), а также очень эластичный при низких температурах. Этиленпропиленовые каучуки имеют хорошие диэлектрические свойства, что в сочетании с высокой атмосферостойкостью и повышенной теплостойкостью делает их весьма перспективными материалами для покрытия электропроводов и кабелей, производства транспортерных лент и приводных ремней, рукавов и прокладок для работы в контакте с агрессивными жидкостями и других [13].

Выпускаемые промышленностью марки этиленпропиленовых каучуков различаются вязкостью по Муни, отсутствием или наличием диеновых звеньев в макромолекуле, типом антиоксиданта и содержанием наполнителя. В России выпускают следующие марки этилен пропиленовых каучуков (без третьего мономера): СКЭП - 30, СКЭП - 40, СКЭП - 50, СКЭП - 60. Цифра указывает вязкость по Муни, которая у одной марки может отличаться на ± 5 [8, 13].

Согласно [19] подтверждённая протоколами климатических испытаний и опытом практического применения, возможностью эксплуатации гибких кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины: до -40°C , максимальная рабочая температура жилы $90-105^{\circ}\text{C}$. Максимально допустимая температура нагрева жилы при КЗ, 250°C . Длительно допустимая температура нагрева жилы в режиме перегрузки, 130°C (8 час/сутки, 1000 час/срок службы). Согласно [20] эксплуатация гибких кабелей с изоляцией из ЭПР максимальная температура окружающей среды: до $75-80^{\circ}\text{C}$, минимальная: до значений в -40°C . Согласно [13, 21] значения энергии активации для этиленпропиленовых резин составляет $85-115$ кДж/моль, в зависимости от насыщенности каучука и др. В [17] указано, что использование в резинах на основе этиленпропиленового каучука в качестве наполнителя коллоидной кремнекислоты позволяет

получить композиции с более высокой энергией активации термоокислительного старения, так же установлено, что энергия активации термоокислительного старения эластомерных композиций не является параметром, однозначно определяющим устойчивость резин к высокотемпературному воздействию. Это связано с тем, что деформационно-прочностные показатели эластомерных композиций и их изменение в ходе высокотемпературного термоокислительного старения зависят не только от химической природы полимерной матрицы и наполнителя, но и от наличия в материале микро- и макродефектов. Математический аппарат, предлагаемый ГОСТ 9.707-81, основан на уравнении Аррениуса и кинетических уравнениях, которые не позволяют при расчетах учесть дефектность структуры эластомера.

Сравнительное изменение механических характеристик линейного расширения в зависимости от температуры для изоляции ЭПР и СПЭ согласно [19] показано на рисунке 5. Именно из-за отсутствия резкого изменения механических свойств изоляции СПЭ в диапазоне температур от 75 до 115 °С применение ЭПР изоляции на данный момент времени очень перспективно. Помимо всего прочего, прокладка кабелей с этиленпропиленовой резиной облегчена ввиду повышенной гибкости относительно СПЭ.

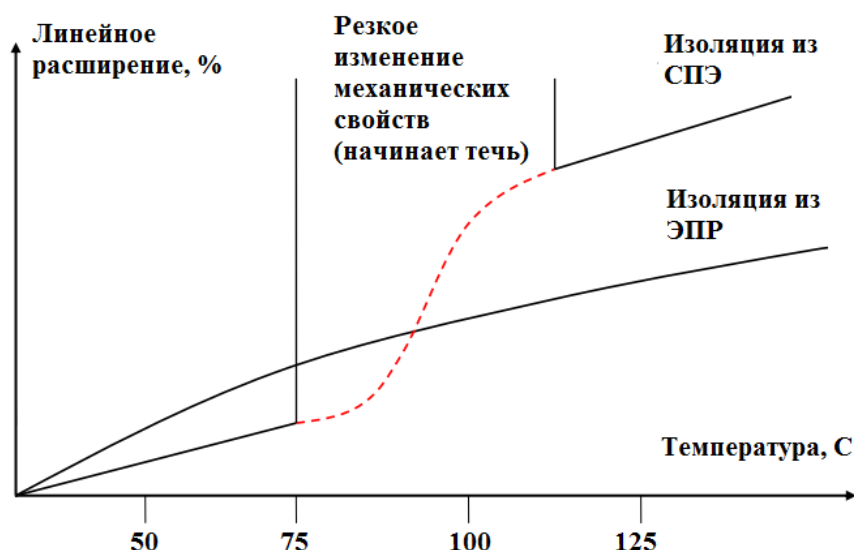


Рисунок 5 – Изменение механической характеристики линейного расширения в зависимости от температуры для ЭПР и СПЭ изоляций

1.6 Определение энергии активации

Энергия активации – это энергия, превышающая энергию основного состояния, которая должна быть добавлена к атомной или молекулярной системе, чтобы мог произойти конкретный процесс.

К методам термического анализа относятся методы, по которым можно оценивать свойства полимеров в ходе изменения температуры (охлаждение или нагревание). Самыми распространенными являются:

- ✓ динамический механический анализ (ДМА);
- ✓ анализ зависимостей измерения физико-механических характеристик материала;
- ✓ дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК);
- ✓ термогравиметрический анализ (ТГА).

Динамический механический анализ (ДМА) применяется для исследований зависимости вязкоупругих и механических свойств (сжатие, сдвиг, изгиб, растяжение) полимерных материалов от времени, температуры и частоты при воздействии на материал периодических нагрузок.

Во время испытаний синусоидальная нагрузка (усилие σ) прикладывается к образцу. Это приводит к синусоидальной деформации (деформация ε). Некоторые материалы, например, полимеры, проявляют вязкоупругое поведение, т.е. они обладают как упругими характеристиками (такими, как идеальная пружина), так и вязкими. Это вязкоупругое поведение вызывает смещение кривой деформации относительно кривой приложенного к образцу усилия со сдвигом фазы δ . Ответный сигнал (деформация, ε) делится на части «в фазе» и «не в фазе» с помощью преобразования Фурье. Тангенс угла механических потерь (или фактор потерь) $\tan \delta$ представляет собой соотношение между модулем потерь и модулем упругости. Как правило, модуль упругости относится к жесткости материала, в то время как модуль потерь представляет собой меру

энергии колебаний, преобразованной в тепловую энергию, $\tan \delta$ характеризует механическое демпфирование или внутреннее трение вязкоупругой системы.

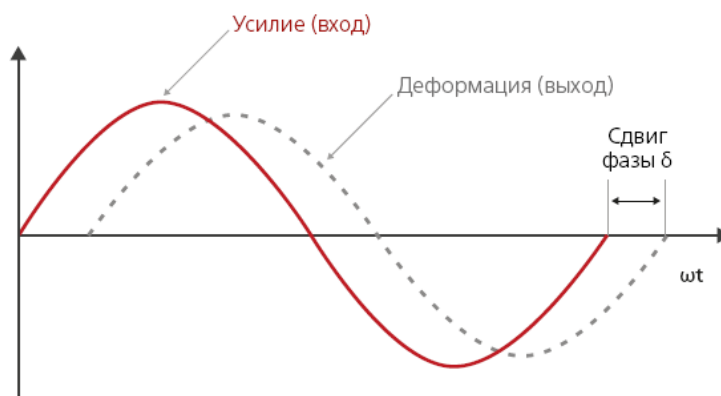


Рисунок 6 – Принцип измерения ДМА

На сегодняшний момент изменение методов термического анализа привело к появлению модульных систем, объединяющие методы ДМА, ДСК и ТГА, с уникальными техническими характеристиками. Данная разработка позволяет одновременно определять различные характеристики исследуемого материала в широком диапазоне частот и температур. Это позволяет получать информацию о механических свойствах полимера, а также о молекулярных перегруппировках и возникающих структурах материала. Появились новые возможности для рационального выбора полимерного материала и процесса контроля качества, переработки, изучения реакций сшивания полимеров, анализа разрушения полимера, и т.д. Все методики подходят для определения энергии активации.

Значение энергии активации может быть определено с помощью зависимостей измерения физико-механических характеристик материала (прочности и/или относительного удлинения) от продолжительности старения для различных температур.

Оценка E_a процесса теплового старения материала производится по изменению наиболее чувствительной характеристики к изменению температуры. На рисунке 7 изображен графический пример обработки результатов при

тепловом старении по изменению характеристики полимера при разных температурах и продолжительности старения.

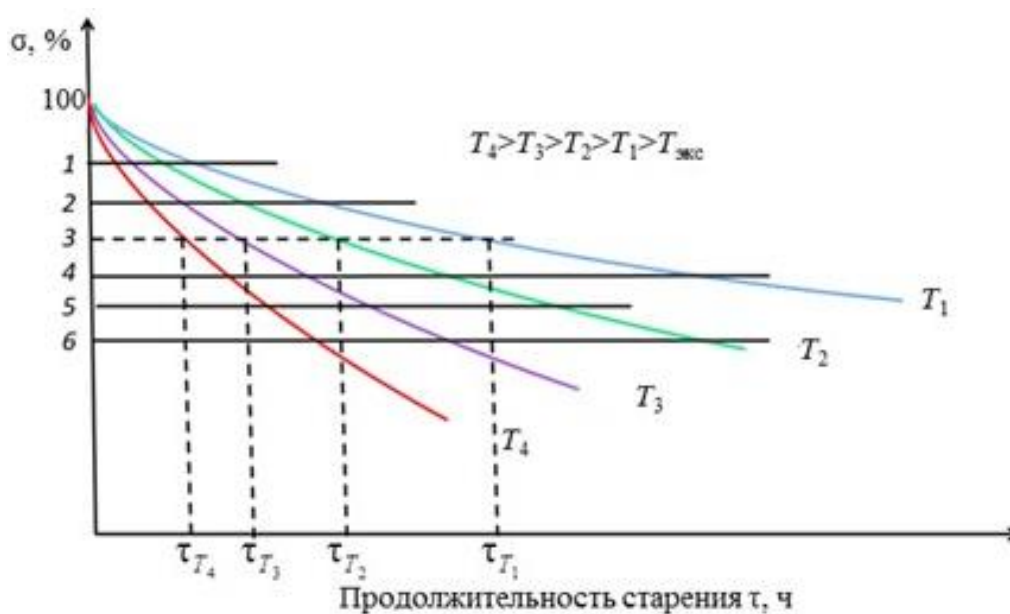


Рисунок 7 – Схема графической обработки результатов при тепловом старении материала

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) основана на измерении разницы тепловых потоков, исходящих от испытуемого образца и эталонного образца. Потоки образуются в результате изменения химических или физических свойств исследуемого полимера. По результатам можно характеризовать свойства полимерного материала и определить характер протекающих процессов в его структуре. Разница тепловых потоков возникает вследствие таких тепловых эффектов как кристаллизация, плавление, химические реакции, испарение, полиморфные превращения и т.д. По результатам испытаний можно определить удельную теплоемкость, изменения теплоемкости, например, в процессе стеклования полимера [22].

Термогравиметрический анализ (ТГА). Основа метода – постоянное взвешивание образца в зависимости от температуры при постоянной скорости нагревания в зависимости от времени. При исследовании данным методом, необходимо небольшое количества материала. Однако этого достаточно для

получения информации о кинетике и механизме деструкции полимера, твердофазных реакциях материала и его термостойкости. Метод также применяется для определения влаги, содержания остаточных материалов в полимере (наполнитель, растворитель), позволяет изучать состав композиционных полимерных материалов и процессы сорбции.

В методе ТГА испытания проводят при нескольких скоростях нагрева (3 или более). Для исследования необходимы образцы, отличающиеся по массе не более чем на $\pm 1\%$. Наибольшая и наименьшая скорости нагрева должны отличаться друг от друга не менее чем в 5 раз. Чтобы увеличить точность определения записывают массу пустого тигля, который будет использован для испытания материала, предварительно нагретого в тех же условиях атмосферы, при тех же скоростях нагрева и потока газа. Если в процессе испытания происходит изменение массы пустого тигля (что как правило связывают с выталкивающей силой), вычитают кривую, полученную для пустого тигля из кривой, полученной для испытуемого образца, и получают скорректированную термогравиметрическую кривую материала. Для нескольких скоростей нагрева испытания повторяются. Полученные кривые используют для оценки результатов испытаний [23].

На рисунке 8 представлена характерная зависимость потери массы исходного лака эмалированного провода при повышении температуры с постоянной скоростью. В области температур от комнатной до $T = 300^\circ\text{C}$ идёт процесс испарения растворителя. Наличие горизонтального участка в конце этой области ($T=250-300^\circ\text{C}$) свидетельствует о том, что к концу первой области растворитель испаряется полностью (успевает диффундировать из объёма смолы).

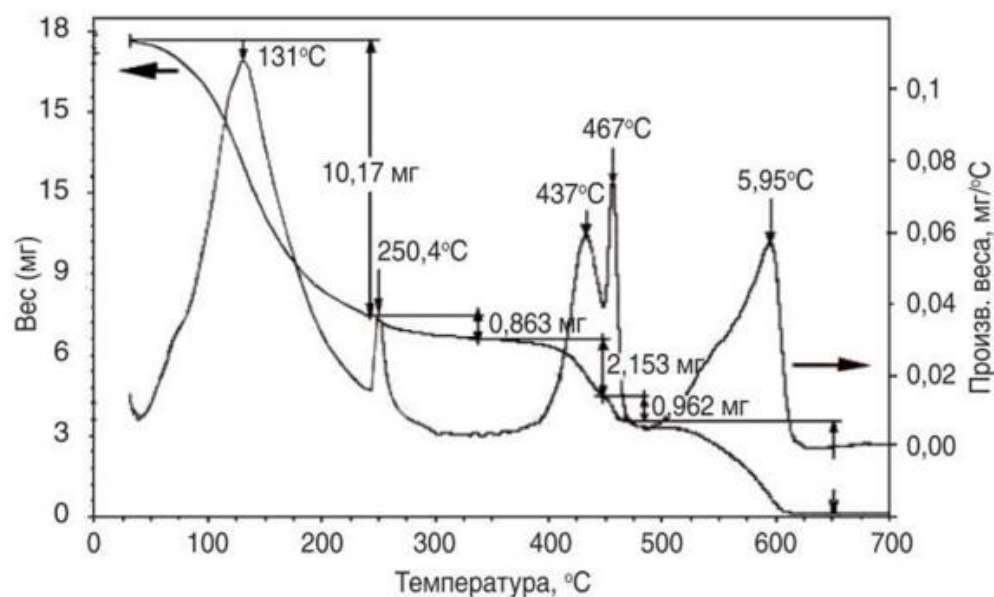


Рисунок 8 – Термогравиметрическая кривая потери массы полиэфиримидного лака МТ 533 эмалированного провода

Во второй области температур $T = 320-450^{\circ}\text{C}$ убыль массы смолы обусловлена процессом структурирования, который заключается в образовании химических связей, приводящих к росту молекулярной массы и образованию пространственной сетки между макромолекулами. В процессе этих реакций выделяется вода и одновременно происходит удаление низкомолекулярных фракций смолы с молекулярной массой от 32 до 110. В конце этой области мы имеем готовый продукт в виде эмалевого покрытия, структурированного на 100%. Наличие ступени с постоянной массой эмали в области температур $T=420-450^{\circ}\text{C}$ также свидетельствует об окончании диффузии низкомолекулярных фракций смолы из объёма эмали.

В третьей области температур $T = 450-600^{\circ}\text{C}$ происходит термоокислительная деструкция эмали практически до полной потери массы. Сухой остаток белого цвета составляет от 0,5 до 1,0% от исходной массы образца.

1.5 Определение срока службы кабельных изделий

Нормативным документом [24] предусмотрено следующее определение основных терминов, характеризующих надежность технических объектов. Надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах.

Отказ изделия понимается как событие, заключающееся в потере его работоспособного состояния.

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ изделий не наступает.

Минимальный срок службы – минимальная календарная продолжительность от начала эксплуатации изделия в заданных режимах и условиях до перехода его в предельное состояние, при котором дальнейшая эксплуатация недопустима.

Согласно [26, 27] гарантийный срок службы резины, прежде всего, зависит от веществ, входящих в состав каучука. Он определяется временем использования изделия из резины, в течение которого полимер сохраняет заявленные характеристики. Для гибких кабелей срок службы с момента ввода в эксплуатацию составляет 5-6 лет. Для кабелей стационарной прокладки срок службы составляет порядка 30 лет.

Оптимальным показателем для подавляющего большинства видов каучука является срок в пределах 5 лет [14]. При интенсивных условиях эксплуатации резинотехнического изделия вместо гарантийного срока может быть применен показатель, измеряющийся в часах функционирования изделия из резины под воздействием определенных внешних факторов (исчисляется в пределах от нескольких десятков до нескольких тысяч часов).

Готовые резинотехнические изделия имеют ряд определенных свойств. На них оказывают влияние как состав смеси для производства каучука и тип

вулканизации, так и факторы эксплуатации продукции из резины: усилие затяжки уплотнителей, площадь изделия, на которую воздействует внешняя агрессивная среда, использование защитных пленочных материалов, уменьшение механического напряжения и ряд других факторов.

В настоящее время определение срока службы кабельных изделий сводится к определению долговечности материалов (каждого в отдельности), входящих в конструкцию кабелей и проводов. Сроком службы кабельного изделия выставляется срок службы самого слабого материала в конструкции, каким является полимер (т.е. изоляция, подушка, оболочка). На самом же деле во время эксплуатации кабелей все материалы взаимодействуют между собой [25].

Прогнозирование срока службы, например, судовых кабелей велось по таким характерным показателям старения, как остаточная концентрация пластификатора, оптическая плотность сопряженных углеродных связей $C=C$, модуль сжатия, температура начала окисления, относительное удлинение при разрыве [28].

Для контроля состояния, согласно [28] и оценки остаточного срока службы кабелей использовался кабельный полимерный индентор EPRI/OGDEN. Применение его позволяет осуществлять неразрушающий контроль кабелей и давать оценку остаточного срока службы кабелей с оболочками на резины и ПВХ по модулю сжатия при преобладании теплового старения кабеля.

В [29] рассмотрен метод расчета, который основан на принципе наложения или суммирования парциальных изменений относительных удлинений при разрыве материала изоляции или оболочки кабеля вплоть до предельного состояния, когда относительное удлинение при разрыве достигает значения 50%.

Расчет проводится с помощью графика зависимости между ресурсом материала оболочки из маслостойкой резины, не распространяющей горения, и температурой на оболочке.

Согласно [30] метод определения долговечности резин также основан на критерии отказа при достижении материала 50%-ого удлинения. Для определения E_a используются ускоренные испытания при повышенных температурах.

Используя метод определения энергии активации, основанный на анализе физико-механических характеристик материала, можно, отталкиваясь от факта, что изоляция сможет функционировать до предельного состояния, когда относительное удлинение при разрыве достигает значения 50%, определить значение (минимальное) срока службы изоляции кабельного изделия, используя для этого зависимость $\ln(\tau) \sim (\frac{1}{T})$.

2 Методическая часть

2.1 Определение объекта исследования. Цели и задачи

Целью работы является исследование теплостойкости этиленпропиленовой резины и рекомендации по её применению в качестве изоляции кабельных изделий.

Объектом исследования является изоляция из этиленпропиленовой резины, изготовленная по специальному рецепту, перспективная для применения в качестве изоляции и оболочек гибких кабелей на низкое и среднее напряжения.

Задачи на исследование:

- изучить современные методы определения энергии активации и оценить оптимальный способ/способы её оценки;
- изучить методику определения энергии активации путем обработки результатов измерений физико-механических характеристик после теплового старения;
- провести тепловое старение образцов и определение физико-механических характеристик образцов после теплового старения с последующим вычислением энергии активации;
- определить срок службы кабеля с изоляцией из этиленпропиленовой резины при различных температурах токопроводящей жилы, а также температурный индекс данного материала;
- сделать выводы по итогам исследования о пригодности этиленпропиленовой резины в качестве изоляции и оболочки гибких кабелей и работы при температурах на жиле до +90 °С.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки, предложенной в магистерской диссертации. В данном случае будет рассмотрены два широко используемых в данное время метода определения теплостойкости полимерных электроизоляционных материалов и выявлен оптимальный с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. В разделе рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса исследования материалов. Данный раздел выполнен согласно методическим указаниям [36].

Первая методика: исследование материалов (в том числе эластомеров) с определением физико-механических свойств. Альтернативный метод: исследование материалов методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для оценки потребителей результатов исследования составим карту сегментирования рынка услуг. Услугой является проведение исследование материалов по методам, изложенным в магистерской диссертации. Потенциальными потребителями являются исключительно юридические лица. Так испытания являются достаточно дорогостоящими, поэтому услуга будет интересна крупным и средним производственным компаниям, которые применяют материалы в своей деятельности.

В работе был рассмотрен материал, который применяется для изоляции кабельных изделий различного назначения и электрических машин в области машиностроения. В таблице 12 представлена карта сегментирования рынка

услуг, в которой указаны предприятия различного типа и методы исследования характеристик материалов, применяемые на данный момент.

Таблица 12 – Карта сегментирования рынка услуг

		Проведение исследований материалов		
		МЕТОД ФММ	МЕТОД ДСК	АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ
ТИП КОМПАНИИ	КАБЕЛЬНЫЕ (крупные и средние)			
	МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ (крупные и средние)			
	ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ (крупные и средние)			

Из карты сегментирования рынка видно какие методы исследований предпочтительны для предприятий различного типа, в применении которых имеются различные материалы. Методы ФММ и ДСК (данная разработка) предпочтительны для крупных кабельных предприятий по причине очень высокой надежности полученных в ходе проведения испытаний результатов.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять конкурентам.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта сравнения двух перспективных методов определения энергии активации эластомеров представлена в Таблице 13, где K_1 – конкурентоспособность для физико-механического метода (ФММ), K_2 – для метода ДСК.

Таблица 13 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б ₁	Б ₂	К ₁ (ФММ)	К ₂ (ДСК)
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Надёжность	0,2	5	3	1	0,6
2.Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,18	4	5	0,72	0,9
3.Энергоэкономичность	0,18	5	3	0,9	0,54
4.Уровень шума	0,02	5	5	0,1	0,1
5.Безопасность	0,1	4	3	0,4	0,3
6.Потребность в ресурсах памяти	0,04	1	4	0,04	0,16
7.Простота эксплуатации	0,04	4	3	0,16	0,12
8.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	1	5	0,04	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	0,2	0,25
2. Цена	0,1	4	3	0,4	0,3
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	3	0,2	0,15
ИТОГО	1			4,16	3,62

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Согласно приведенной выше оценочной карте для сравнения конкурентных технических разработок, на сегодняшний день наиболее конкурентоспособным является первый метод исследования материалов (с использованием

физико-механических характеристик материалов). Это связано, в первую очередь со стоимостью, затрачиваемую на испытания, а также простотой методики. Однако, стоит отметить тот факт, что данный метод требует гораздо больших временных ресурсов.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. Данный анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап описывает сильные и слабые стороны проекта, находит возможные и угрозы для реализации проекта, проявившиеся или возможны в его внешней среде.

Второй этап выявляет соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие помогает определить степень необходимости проведения стратегических изменений. В пределах данного этапа следует построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Рассмотрим также работу на установке ДСК.

Таблица 14 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта: С1: Удовлетворение потребительских нужд (исследование необходимых параметров) С2: Возможность быстрых испытаний С3: Большой срок службы установки С4: Отсутствие шумовых признаков при работе на установке</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1: Не всегда точны результаты измерений Сл2: Химически вредная среда при работе на установке Сл3: Необходимость квалифицированного персонала при работе на установке Сл4: Большие затраты на покупку установки</p>
<p>Возможности: В1: Увеличение производительности установки В2: Появление дополнительной автоматизированной системы управления В3: Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при работе на установке В4: Улучшение технологии производства</p>	<p>B1C1C2C3C4 B2C1C2 B3 B4C1C2C3C4</p>	<p>B1Сл1Сл3 B2Сл3 B3Сл4 B4Сл1Сл2Сл3</p>
<p>Угрозы: У1: Конкуренция со старыми (уже доказавшие свою надёжность) установками У2: Импорт отдельных частей для ремонта установки У3: Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4: Угрозы выхода из строя сложных частей установки</p>	<p>У1C1 У2C1C2C3 У3C1 У4C1C2C3</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3Сл4 У2Сл4 У3Сл2Сл4 У4Сл4</p>

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – возможности»

	C1	C2	C3	C4
B1	+	+	+	+
B2	+	+	-	-
B3	-	-	-	-
B4	+	+	+	+

Таблица 15: B1C1C2C3C4, B2C1C2, B4C1C2C3C4. Каждая из записей показывает направление реализации проекта. В случае, когда несколько возможностей сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. Здесь: B1B2B4C1C2 и B1B4C3C4.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – угрозы»

	C1	C2	C3	C4
У1	+	-	-	-
У2	+	+	+	-
У3	+	-	-	-
У4	+	+	+	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – возможности»

	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
B1	+	-	+	-
B2	-	-	+	-
B3	-	-	-	+
B4	+	+	+	-

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – угрозы»

	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
У1	+	+	+	+
У2	-	-	-	+
У3	-	+	-	+
У4	-	-	-	+

В рамках следующего этапа должен быть подведен итог SWOT-анализа, в котором будут отражены стратегические планы на реализацию проекта и долгосрочное развитие. По результатам второго этапа выделим основные задачи:

- внедрение автоматической системы сигнализации повреждения оборудования;
- внедрение новых технологий обнаружения неисправностей;
- внедрение нескольких источников поставки частей и материалов;
- обеспечение подготовки квалифицированных кадров, и благоприятные условия труда для них;
- установка системы вентиляции и кондиционирования для снижения риска поражения химическими веществами.

В результате анализа было установлено, что технический проект имеет такие важные преимущества как высокая работоспособность, большой срок службы установки, отсутствие шумовых признаков, которые обеспечивают высокую производительность и экономичности процесса испытаний. Несмотря на это, имеет место сложность ремонта отдельных частей установки, которая приводит к большим затратам на поставку этих частей с заводов, что в свою очередь сопровождается большими затратами, чем ремонт на предприятии.

Главными факторами, влияющими на функциональную и бесперебойную работу предприятия, являются поставка материалов и обнаружение повреждений оборудования на начальных стадиях, когда замена частей агрегатов или ремонт не составляет значительных затрат.

Присутствует вероятность в недостатке квалифицированного персонала. Данную проблему возможно решить с помощью создания специализированных программ по привлечению молодежи, а также обеспечением наиболее комфортных и выгодных рабочих условий (наличие премий, гибкий график методом вахт и т.д.).

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта. Устав проекта документирует бизнес-потребности и новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [1].

Устав проекта имеет следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

На сегодняшний день процедуру испытания на термостойкость проходят все изделия электротехнической, а также медицинской и пищевой отраслях в тех случаях, когда данные материалы эксплуатируются при повышенных значениях температуры токопроводящей жилы, либо окружающей среды.

Таблица 19 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания сторон
Электротехническая промышленность	Создание материала стойкого к действию повышенной температуры эксплуатации
Пищевая промышленность	
Медицинская промышленность	

Таблица 20 – Цели и результаты проекта

Цель проекта:	Создание материала стойкого к действию повышенной температуры эксплуатации
Ожидаемые результаты проекта:	Результатом проекта являются показатели относительного удлинения и предела прочности при разрыве образцов из исследуемого материала
Критерии приемки результата проекта:	Исследование физико-механических характеристик произведено в соответствии с ГОСТ 56756-2015
Требования к результату проекта:	Уменьшение предела прочности и увеличение относительного удлинения при разрыве не должны превышать допустимых норм

2. Организационная структура проекта.

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД).

Таблица 21 – Рабочая группа проекта

ФИО, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час
Матери Т.М. ассистент	Руководитель и эксперт проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта	200
Самойлов А.А. студент	Исполнитель по проекту	Выполняет работы по проекту	350

3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников проекта.

Таблица 22 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	не более 500 000 руб.
Источник финансирования	АО «Сибкабель»
Сроки проекта	продолжительность работ: 60 рабочих дней
Дата утверждения плана управления проектом	12.09.2019 г.
Дата завершения проекта	не позднее 25.05.2020 г.

Таблица 23 – «Портрет» потребителя

Наименование	АО «Сибкабель»
Номенклатура выпускаемых изделий	свыше 20 тысяч марок кабелей и проводов
Состав завода	5 цехов основного производства
Производственная площадь цехов	60000 квадратных метров
Численность работающих	около 1170 человек

4.3 Планирование научно-исследовательской разработки

4.3.1 Структура работы в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в соответствии с порядком:

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

В данном разделе следует составить этапы и перечень работ, в рамках проведения научного исследования на установке ДСК завода. Также выполнить распределение исполнителей, в состав которых входят инженер и руководитель, по различным видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей, приведен в Таблице 24.

Таблица 24 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания (ТЗ)	1	Составление и утверждение ТЗ (схем моделирования, проектирования)	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель
	3	Выбор направления оптимизационной задачи	Руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ литературы по тематике	Инженер
	6	Изучение методики испытаний	
	7	Проведение испытаний	
	8	Сравнение результатов, полученных двумя методами	
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации	10	Оценка надёжности полученных результатов	Руководитель
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
Оформление отчёта по НИР	12	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер

4.3.2 Определение трудоёмкости выполнения проектировочных работ

Трудовые затраты в подавляющем числе случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важно определить трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{сек_i}$ используется следующая формула:

$$t_{сек_i} = \frac{3 \cdot t_{min_i} + 2 \cdot t_{max_i}}{5},$$

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

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

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

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{сек1} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{сек2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{сек3} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{сек4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{сек5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{сек6} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 5}{5} = 4,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{сек7} = \frac{3 \cdot 30 + 2 \cdot 45}{5} = 36 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{сек8} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{сек9} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{сек10} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{сек11} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{сек12} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , по формуле:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i},$$

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

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

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

При проектировании и разработки моделей все действия выполняются последовательно, соответственно продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{ож\bar{i}}$.

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Самым наглядным и удобным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, продолжительность каждого этапа работ из рабочих дней нужно перевести в календарные дни. Для этого следует воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (при расчетах не учитываются дни, которые были объявлены выходными согласно указам Президента РФ, в связи с пандемией COVID-19 в рабочем 2020 г.):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Определим коэффициент календарности на 2020 год (учитывая тот факт, что данный год является високосным):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 117} = 1,47.$$

Тогда длительность первой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 3,8 \cdot 1,47 = 5,59 \approx 6 \text{ дн.}$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округлим до целого числа. Рассчитанные значения сводим в таблицу 25.

Таблица 25 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Длитель- ность работ в рабочих днях T_{pi}	Длитель- ность работ в календар- ных днях T_{ki}
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		
Составление и утверждение ТЗ	3	5	3,8	3,8	6
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	3	8	6,2	6,2	9
Выбор направления оптимизационной задачи	1	3	1,8	1,8	3
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Анализ литературы по тематике	6	8	6,8	6,8	10
Изучение методики испытаний	4	5	4,4	4,4	6
Проведение испытаний	30	45	36	36	53
Сравнение результатов, полученных двумя методами	4	6	4,8	4,8	7
Оценка эффективности полученных результатов	3	5	3,8	3,8	6
Оценка надёжности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	9
Вопросы безопасности и экологичности проекта	1	3	1,8	1,8	3
Составление пояснительной записки	85	8	6,2	6,2	9

Основываясь на данных из таблицы, построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта (Приложение I).

Исходя из составленного календарного плана, с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный), продолжительность проектирования составляет 10 полных декад, начиная со второй декады января, заканчивая третьей декадой мая.

Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 123 дней, из которых 91 день – продолжительность выполнения работ инженером, а 35 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Для формирования затрат проектирования используются следующие виды затрат: материальные затраты ТП, накладные расходы, основная ЗП участников проектирования, дополнительная заработная плата участников проектирования (премии) и отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) и амортизация используемого оборудования.

В данном разделе будут посчитаны для двух методов исследования материалов: метод ДСК и физико-механический метод. В ходе проведения расчетов будет выбран наиболее оптимальный.

4.4.1 Расчет материальных затрат

К материальным затратам относятся дополнительные затраты на материал исследования, оборудование, канцелярские товары и т.д.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расч}i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расч}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур. ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур. ед.).

Таблица 26 – Материальные затраты (для метода ДСК)

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы ($З_{\text{м}}$), руб.
Исследуемый материал	10	0,543	5,43
Жидкий азот (охлаждение установки)	50	30	1 500
Газообразный азот (среда исследования)	40	15	600
Ручка	1	15	15
Бумага	1	150	150
ИТОГО			2 270,43

Таблица 27 – Материальные затраты (для физико-механического метода определения характеристик эластомеров)

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Z_m), руб.
Исследуемый материал	625	0,543	339,38
Ручка	1	15	15
Бумага	1	150	150
ИТОГО			504,38

4.4.2 Расчёт затрат на оборудование

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Амортизация основных средств рассчитывается по формуле:

$$A = PC \cdot n,$$

где A – месячная сумма амортизационных отчислений,

PC – первоначальная стоимость оборудования,

n – ежемесячная амортизация ($n = 1/СПИ$).

В данном случае СПИ – это средняя продолжительность использования оборудования в месяц.

Для проведения исследования методом ДСК необходимы: установка DSC 214 Polyma и весы ВРЛ-200. Предполагаемый срок службы оборудования 10 лет (120 месяцев). Общая стоимость оборудования 2666190 рублей.

Таким образом для метода ДСК:

$$n = 1/120 = 0,0083.$$

Тогда:

$$A_{ДСК} = 2666200 \cdot 0,0083 = 22129,38 \text{ руб.}$$

Так как исследование проводится 4,3 месяца, сумма амортизационных отчислений составит $4,3 \cdot 22129,38 = 95156,33$ руб.

Физико-механический метод: для проведения исследования необходимы разрывная машина (срок службы 15 лет/180 месяцев), 3 климатических камеры (срок службы 10 лет/120 месяцев), микрометр (срок службы 6 лет/72 месяца).

$$ПС_1 = 300\,990 \text{ руб.};$$

$$3 \cdot ПС_2 = 3 \cdot 677800 = 2033400 \text{ руб.};$$

$$ПС_3 = 1129 \text{ руб.};$$

$$n_1 = 1/180 = 0,0056;$$

$$n_2 = 1/120 = 0,0083;$$

$$n = 1/72 = 0,014.$$

Тогда амортизация основных средств для физико-механического метода определения характеристик эластомеров:

$$A_1 = 300990 \cdot 0,0056 = 1685,54 \text{ руб.},$$

$$A_2 = 2033400 \cdot 0,0083 = 16877,22 \text{ руб.},$$

$$A_3 = 1129 \cdot 0,014 = 15,81 \text{ руб.},$$

$$\sum A = 1685,54 + 16877,22 + 15,81 = 18578,57 \text{ руб.}$$

Так как исследование проводится 4,3 месяца, сумма амортизационных отчислений составит $A_{фмм} = 4,3 \cdot 18578,57 = 79887,85$ руб.

4.4.3 Полная заработная плата исполнителей исследования

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату. Определяется она согласно следующей формуле:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

$З_{доп}$ – заработная плата дополнительная.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата инженера определяется по формуле:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + 0,12 \cdot Z_{осн}.$$

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{\partial} \cdot T_p,$$

где Z_{∂} – среднедневная заработная плата;

T_p – суммарная продолжительность работ (исследования), выполняемая сотрудником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\partial} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}},$$

где Z_m – месячный оклад научно-технического работника;

M – количество месяцев работы без отпуска ($M = 10,95$ для пятидневной рабочей недели и отпуске в 32 рабочих дня);

F_{∂} – действительный годовой фонд научно-технического персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячный оклад научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p,$$

где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке;

k_{np} – премиальный коэффициент, 0,3;

k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, 0,15;

k_p – районный коэффициент (принимается для Томской области (Сибирского региона) – 1,3).

Размер заработной платы по тарифной ставке определяется по формуле:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T,$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника;

k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

С помощью вышеперечисленных формул найдём основную заработную плату руководителя НТИ (тарифная ставка – усредненное значение для работников кабельной промышленности):

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T = 22000 \cdot 1,2 = 26400 \text{ руб.};$$

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p = 26400 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 49764 \text{ руб.};$$

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_o} = \frac{49764 \cdot 10,95}{365 - 117} = 2197,24 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = Z_o \cdot T_p = 2197,24 \cdot 35 = 76903,4 \text{ руб.};$$

$$Z_{полн} = Z_{осн} + 0,12 \cdot Z_{осн} = 76903,4 + 0,12 \cdot 76903,4 = 86131,81 \text{ руб.}$$

Аналогично проводим расчет заработной платы инженера:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T = 15000 \cdot 1 = 15000 \text{ руб.};$$

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 28275 \text{ руб.};$$

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_o} = \frac{28275 \cdot 10,95}{365 - 117} = 1248,43 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = Z_o \cdot T_p = 1248,43 \cdot 91 = 113607,13 \text{ руб.};$$

$$Z_{полн} = Z_{осн} + 0,12 \cdot Z_{осн} = 113607,13 + 0,12 \cdot 113607,13 = 127239,99 \text{ руб.}$$

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления в соответствии с законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС) – 2,9%, пенсионного фонда (ПФ) – 20%, медицинского страхования (ФФОМС) – 5,1% от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) ,$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений за уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и прочее)

На основании пунктов 4-6 части 1 Федерального закона № 407-ФЗ от 01.12.2014 в 2020 году вводится суммарная ставка – 28 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб1} = 0,28 \cdot 86131,81 = 24116,91 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб2} = 0,28 \cdot 127239,99 = 35627,19 \text{ руб.}$$

Расчёты заработной платы и отчисления во внебюджетные фонды сводим в Таблицу 28.

Таблица 28 – Размер заработной платы и величина отчисления во внебюджетные фонды

№	Сотрудник	T_{ci}	$З_{ТС}$	$З_m$	$З_{дн}$	$З_{осн}$	$З_{доп}$	$З_n$	$З_{внеб}$
1	Руководитель	22000	26400	49764	2197,24	76903,4	9228,41	86131,81	24116,91
2	Инженер	15000	15000	28275	1248,43	113607,13	13632,86	127239,99	35627,19
ИТОГО								213371,8	59744,1

4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не включенные в предшествующие статьи расходов: ксерокопирование и печать материалов исследования, оплата электроэнергии, связи, почтовые и расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = З_{проч} \cdot k_{нр} = (З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 = 43698,54 \text{ руб.},$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

4.4.6 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта составляет основу для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Сумма затрат на проект по методу ДСК приведены в таблице 29, физико-механическим методом в таблице 30.

Таблица 29 – Сумма затрат на исследование по методу ДСК

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	2 270,43	0,55
2. Амортизация основных средств	95 156,33	22,97
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	213 371,80	51,51
5. Отчисления во внебюджетные фонды	59 744,10	14,42
5. Накладные расходы	43 698,54	10,55
ИТОГО	414 241,20	100

Таблица 30 – Сумма затрат на исследование физико-механическим методом

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	504,38	0,13
2. Амортизация основных средств	79 887,85	20,11
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	213 371,80	53,72
4. Отчисления во внебюджетные фонды	59 744,10	15,04
5. Накладные расходы	43 698,54	11,00
ИТОГО	397 206,67	100

После подсчёта сметы затрат по испытаниям двумя методами, наиболее выгодным оказался физико-механический метод. Разница в сметах составила 17 034,53 рублей. Если же в перспективе рассматривать две методики, то метод ДСК является наиболее экономичным, так как расходуется меньше материала на исследование и метод ДСК позволяет проводить более ускоренные испытания. Данный метод хорошо подходит для дорогостоящих материалов.

4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности НИ получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких вариантов исполнения.

Определим интегральный финансовый показатель трех различных разработок. Для метода ДСК:

$$I_{\phi(ДСК)} = \frac{\Phi_{(ДСК)}}{\Phi_{max}} = \frac{414241,20}{414241,20} = 1,$$

где $\Phi_{(ДСК)}$ – стоимость исполнения метода ДСК;

Φ_{max} – максимальная стоимость исследований (в т. ч. и аналогов).

Аналогично для ФММ:

$$I_{\phi(ФММ)} = \frac{\Phi_{(ФММ)}}{\Phi_{max}} = \frac{397206,67}{414241,20} = 0,959.$$

Для альтернативных вариантов:

$$I_{\phi(A)} = \frac{\Phi_{(A)}}{\Phi_{max}} = \frac{355000}{414241,20} = 0,857.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов;

a_i – весовой коэффициент i -ого параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка разработки и аналогов;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности разработки и аналогов приведен в Таблице 31.

Таблица 31 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Метод ФММ	Метод ДСК	Аналоги
1. Надежность	0,3	5	4	3
2. Материалоемкость	0,2	5	4	4
3. Удобство в эксплуатации	0,2	4	5	3
4. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	3	4	4
5. Энергосбережение	0,1	4	5	4
6. Безопасность	0,1	4	3	4
ИТОГО	1	-	-	-
I_m	-	4,4	4,2	3,5

Определим интегральный показатель эффективности разработки и аналогов. Для методов ФММ, ДСК и аналогов:

$$I_{фин(ФММ)} = \frac{I_{m(ФММ)}}{I_{\phi(ФММ)}} = \frac{4,4}{0,959} = 4,6;$$

$$I_{фин(ДСК)} = \frac{I_{m(ДСК)}}{I_{\phi(ДСК)}} = \frac{4,2}{1} = 4,2;$$

$$I_{фин(A)} = \frac{I_{m(A)}}{I_{\phi(A)}} = \frac{3,5}{0,857} = 4,1;$$

Сравнительная эффективность проекта (метода ФММ (разработка) и аналогов):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{фин(ФММ)}}{I_{фин(A)}} = \frac{4,6}{4,1} = 1,122.$$

Анализируя значения интегральных показателей эффективности, можно прийти к выводу, что метод ФММ наиболее эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

4.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 15X.

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -ому показателю.

Таблица 32 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	56

Полученное значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Согласно [1], если $B_{\text{сум}}$ находится в диапазоне от 59 до 45 – то перспективность проекта выше среднего. Для достижения лучших результатов необходимо увеличить объемы инвестирования в текущую разработку и направить ее на дальнейшие улучшения, с привлечением специалистов в команду проекта

5 Социальная ответственность

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения нормативных условий труда при работе с разрывной машиной Shimadzu в лабораторных условиях в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам экологической безопасности и обеспечении безопасности работников при возникновении ЧС. Данная установка непосредственно эксплуатируется при выполнении практической части магистерской диссертации.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям, в соответствии с законодательством Российской Федерации, к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

На предприятиях, где эксплуатируется разрывная машина марки Shimadzu, согласно [37], установлена пятидневная рабочая неделя с двумя выходными, время начала и окончания работы, время перерывов работы, число смен в сутки, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами. Как правило, рабочая неделя составляет 40 часов.

Защита персональных данных работника нормируется [37]. Работодатель несет ответственность за нарушение норм, регулирующих обработку и защиту персональных данных работника в соответствии с законодательством РФ.

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда: сокращенная продолжительность смены, ежегодный дополнительный оплачиваемый от-

пуск, повышение оплаты труда и др. Класс условий труда, при работе на данной установке 1-2, то есть условия труда являются оптимальными, компенсации в данном случае не предусмотрены.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды излагаются в [38]. Конструкция и расположение установки должна обеспечивать возможность удобства выполнения трудовых действий. Также в помещении с установкой должны быть допустимые показатели освещенности, климатические показатели, а также обеспечено надёжное заземление, обеспечены меры пожарной и химической безопасности.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования и которые могут возникнуть при проведении исследований

К вредным факторам, согласно [39], которые могут присутствовать при работе на используемой разрывной машине, относятся факторы, приведенные в Таблице 33.

Таблица 33 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплу- атация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
3.Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека			+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
5.Поражение электрическим током			+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
6. Воздействие подвижных частей машин и механизмов			+	ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.
7. Возможное возгорание			+	Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

5.2.1.1 Микроклимат

Показателями, в соответствии с [40], характеризующими микроклимат являются:

- Температура воздуха;
- Относительная влажность воздуха;
- Скорость движения воздуха;
- Интенсивность теплового излучения.

Данные показатели являются определяющими самочувствие рабочего персонала. Согласно [40] необходимо поддерживать следующие оптимальные параметры климата (Таблица 34), обеспечивающие наибольшую вероятность сохранения здоровья и наибольшую производительность труда.

Таблица 34 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °C		Относит. влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный	Ср. тяжести	17-19	15-21	40-60	<75	0,2	<0,4
Тёплый	Ср. тяжести	20-22	16-27	40-60	<70	0,3	0,2-0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с [4], следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по [41] установка центробежных вентиляторов, герметизация технологического оборудования.
- установка систем местных отсосов по [41] для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ от мест их образования и выделения, а также установка систем воздушного отопления;

5.2.1.2 Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с [42].

Рациональное освещение обеспечивает высокую производительность трудового процесса и качества работ, а также исключает возникновение дефектов зрения (спазм аккомодации, ложные близорукость и дальновзоркость).

Используются три вида освещения: естественное, искусственное и совмещенное. При недостатке естественного освещения у человека нарушается обмен веществ и резистентность организма, поэтому широко используются газоразрядные источники света в силу близости их спектра к естественному свету.

В кабинете с установкой применяется комбинированная система общего освещения: осуществляется равномерное освещение кабинета люминесцентными лампами ЛД.

Нормы освещенности определяются основными признаками зрительной работы: размер различаемого объекта; коэффициент отражения фона; контраст между объектом и фоном. На основе данных признаков разработаны требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [42]. Согласно им, в кабинете естественного освещения при комбинированном освещении составляет: $KEO=3\%$, а освещенность при комбинированном освещении от общего освещения должна составлять 200 Лк, а на рабочих местах – 750 Лк.

Так же предусматривается аварийное освещение с наименьшей освещенностью рабочих мест при аварийном режиме 2 Лк, эвакуационное освещение освещенностью не менее 0,5 Лк на уровне пола основных проходов и лестниц, а на открытых территориях – не менее 0,2 Лк.

5.2.1.3 Защита от случайного прикосновения

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в цехах завода обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту [43].

Согласно [44, 45] ограждения применяются как сплошные, в виде кожухов и крышек, применяемые в электроустановках до 1000 В, так и сетчатые, которые имеют двери, запирающиеся на замок.

В электроустановках до 1000 В ограждаются – неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением части ЭД, пусковая аппаратура, открытые плавкие вставки.

В электроустановках выше 1000 В – все без исключения токоведущие части (изолированные и неизолированные) должны быть надежно ограждены сетками, закрыты металлическими дверями, заключены в металлические ящики или расположены на недоступной высоте.

В электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях и электрических аппаратах, применяются блокировки. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях кожухов.

Блокировки применяются также для предупреждения ошибочных действий персонала при переключениях.

5.2.1.4 Защитное заземление

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетокведущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т.п.).

Данные для расчёта заземления:

1. Заземление необходимо выполнить для установки, работающей под напряжением 380 В.
2. Для заземления используем трубы диаметром 4 мм. и длиной 2,5 м. и сталь полосовую 18х4 мм.
3. Заземлители расположены в ряд.
4. Характер грунта в месте установки заземления — глина. Заземлители установлены на глубину (от верхнего конца трубы) 17 см., а расстояние между трубами принимаем равной трём длинам заземлителей, т.е. $a=2$ м.

Верхние концы соединены с помощью полосовой стали. Определим, что для данного случая по нормам допускается сопротивление не более 4 Ом. Удельное сопротивление глины составляет $\rho_T = 0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Учитывая применение грунта зимой и просыхания его летом, определяем расчётные значения $\rho_{\text{э}}$ и ρ_n при использовании трубчатых заземлителей соединительной полосы и соединительной полосы:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_T \cdot K_{\text{э}} = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,14 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

где $K_{\text{э}} = 1,9$ – коэффициент для вертикальных электродов;

$$\rho_n = \rho_T \cdot K_n = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

где $K_n = 5$ – коэффициент для горизонтальных электродов.

Определим величину сопротивлений одной забитой в землю трубы по выражению:

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot l_m} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_m}{d} + 0,5 \cdot \frac{4 \cdot h_m + l_m}{4 \cdot h_m \cdot l_m} \right),$$

где h_m – глубина заземления, $h_m = 750$ см.;

$$R_{\text{э}} = \frac{1,14 \cdot 10^4}{6,28 \cdot 250} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 250}{0,4} + 0,5 \cdot \frac{750 + 250}{750 \cdot 250} \right) = 54,4 \text{ Ом},$$

Определим число заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{э}}}{Z} = \frac{54,4}{6} = 9 \text{ шт.},$$

Учитывая, что трубы соединены заземлительной полосой, которая выполняет роль заземлителя, уменьшаем число труб до 6 штук. Определим длину соединительной полосы:

$$l_m = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1) = 1,05 \cdot 2 \cdot (6 - 1) = 10,5 \text{ м.},$$

где n – число заземлителей;

a – расстояние между заземлителями.

Размер резервуара 5х5 м, длина соединительной полосы вписывается в его размер.

Результирующее сопротивление (полосы и трубы) с учётом коэффициента использования труб $J_\pi = 0,85$ и полосы $J_\pi = 0,86$ определяется по формуле:

$$R_\Sigma = \frac{R_\pi \cdot R_n}{R_\pi \cdot J_\pi + R_\pi \cdot J_\pi \cdot n} = \frac{54,4 \cdot 7,26}{54,4 \cdot 0,86 + 7,26 \cdot 0,85 \cdot 9} = 3,85 \text{ Ом.}$$

Данная величина удовлетворяет требованиям защитного заземления. Контроль заземления производится при приёме в эксплуатацию, а также периодически, в сроки, установленные правилами, при переконфигурации оборудования и ремонте заземлителей.

Схема расположения устройства защитного заземления по отношению к резервуару показана на рисунке 20.

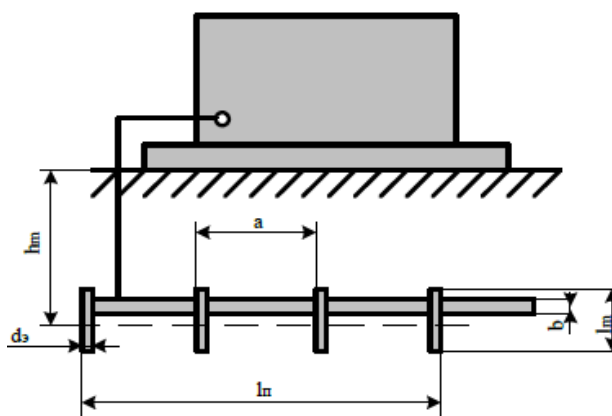


Рисунок 20 – Схема защитного заземления

В данном случае выполняем выносное заземление. Заземление корпуса находится вне поля растекания и человек, касаясь корпуса, оказывается под

полным напряжением относительно земли. Выносное заземление защищает за счёт малого сопротивления заземлителей [46].

5.2.1.5 Защита от воздействия движущихся частей машин и механизмов

Источником возникновения фактора является сама установка, на которой проводятся испытания.

Воздействие данного фактора на организм человека может привести к различным увечьям, повреждениям рук, ног и всех частей тела и др.

К средствам защиты от действия движущихся частей машин относятся: соблюдение допустимых расстояний (для данных типов машин расстояние, указанное в паспорте, составляет 0,2 м.), предохранительные защитные устройства, предназначенные для автоматического отключения агрегатов и машин при отклонении какого-либо параметра, характеризующего режим работы оборудования, за пределами допустимых значений. Таким образом, при аварийных режимах (увеличении давления, температуры, рабочих скоростей, силы тока, крутящих моментов и т.п.) исключается возможность взрывов, поломок, воспламенений [47]. В соответствии с [47] предохранительные устройства по характеру действия бывают блокировочными и ограничительными. К предохранительным устройствам относят ограничители хода как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, изготовленные в виде упоров, концевых выключателей и т. п.

К средствам коллективной защиты по расстоянию опасного воздействия можно отнести блокировочные устройства. Блокировочные устройства по принципу действия подразделяют на механические, электронные, электрические, электромагнитные, пневматические, гидравлические, оптические, магнитные и комбинированные. Блокировочные устройства препятствуют проникновению человека в опасную зону, либо во время пребывания его в этой зоне устраняют опасный фактор.

Механическая блокировка представляет собой систему, обеспечивающую связь между ограждением и тормозным (пусковым) устройством. При снятом ограждении агрегат невозможно растормозить, а, следовательно, и пустить его в ход.

5.2.1.6 Защита от возможного возгорания

Так как установка работает от электрической энергии, не исключено возникновения пожара. Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [48] к мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания, применение искробезопасного оборудования, устройства молниезащиты здания, выполнения правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей, средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, системы автоматической пожарной сигнализации, порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания работающий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

5.3.1 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Рассмотрим критерий, обеспечивающий снижение уровня воздействия указанных выше опасных и вредных факторов на исследователя. В качестве его выберем «принцип защиты». По данному критерию методы и средства защиты исследователя представлены следующим образом.

1. Нормализация условий труда. Сущность данного метода заключается в проведении организационных, технических и иных видов мероприятий, направленных на снижение уровня опасных и вредных факторов, которые способны вызывать риск ухудшения здоровья. План мероприятий по охране труда в процессе аттестации рабочих мест по условиям труда реализуется план мероприятий по охране труда, в который, в частности, включается:

- ✓ Замена или модернизация применяемого на предприятии оборудования, которое на данный момент уже не может удовлетворять современным требованиям безопасности труда;
- ✓ оснащение средствами коллективной защиты помещений, технологического оборудования и рабочих мест (к таким средствам защиты относят, например, вентиляцию, дополнительные и современные приборы освещения, ограждения и др.);
- ✓ совершенствование технологического процесса, для уменьшения вредных выбросов, вибрации, шума и т.п.;
- ✓ проведение профилактических, ремонтных работ, периодических осмотров и замены тех средств коллективной защиты, которые имеются на территории организации, но частично или в полной мере не выполняют своих защитных функций.

2. Защита расстоянием. Сущность данного метода заключается в том, чтобы по возможности устранить зоны пересечения исследователем или рабочим тех мест, где проходит основная часть технологического процесса организации. Достигается это следующими способами:

❖ с целью создания физической преграды для человека ограждение опасных зон. Данные барьеры предотвращают приближение человека к источнику опасности, устраняют возможность захвата его частей тела или одежды движущимися элементами оборудования, ожога от нагретых поверхностей и т.п.;

❖ применение автоматизированных систем управления с максимальным удалением диспетчеров от зоны воздействия вредных и опасных факторов, а также применение роботизированной техники.

❖ документальное нормирование минимально допустимых расстояний между диспетчером или оператором и источником повышенной опасности и др.

3. Защита временем. Данный метод используется в тех случаях, когда первые два метода невозможно применить по техническим причинам или их реализация не дает удовлетворительного результата. В таком случае нормативно устанавливается допустимое время пребывания человека в зоне повышенной опасности или вредности (например, в условиях воздействия ионизирующего излучения, вблизи мощных источников электромагнитного излучения и др.). Работнику может устанавливаться: сокращенная рабочая неделя (например, четырехдневная) или уменьшенная длительность рабочей смены, наибольшее время непрерывной работы в условиях действия вредных производственных факторов, время и периодичность дополнительных перерывов в течение смены.

5.4 Экологическая безопасность

5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В установке, где образцы нагреваются до проведения испытаний, возможно выделение токсичных веществ, которые представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды – влияние на атмосферу [49, 50].

Фактором, влияющим на литосферу, является наличие твёрдых отходов. Отходы, в данном случае, образуются вследствие испытания полимерных материалов (резин).

5.4.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для защиты окружающей среды от вредных газов (при нагреве образцов до испытания) и пыли необходимо применять вытяжную вентиляцию со специальной системой очистки воздуха.

Для твердых отходов, предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки.

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В настоящее время существуют два основных направления минимизации вероятности возникновения и последствий ЧС на административных объектах – это разработка инженерно-технических и организационных мероприятий. К инженерно-техническим мероприятиям относятся: строительство защитных сооружений, создание санитарно-защитных зон вокруг потенциально опасных объектов, инженерное оборудование территории региона с учетом характера воздействия прогнозируемых ЧС. К организационным мероприятиям относятся: эвакуация работающих (план), подготовка работающих к действиям при ЧС, подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание. Исследуемое помещение с установкой относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей) [51].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Различают следующие организационные мероприятия: противопожарный инструктаж обслуживающего персонала, обучение персонала правилам техники безопасности, издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

К эксплуатационным мероприятиям можно отнести: соблюдение эксплуатационных норм оборудования, обеспечение свободного подхода к оборудованию, содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огне-тушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

5.6 Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены вопросы, которые обуславливают социальную ответственность работника и организации перед окружающей средой и природой.

Также были выявлены опасные факторы, влияющие на окружающую среду и человека такие как: вредные вещества, электрический ток, а также акустический шум. Каждый фактор нормируется согласно требованиям ГОСТ и СНиП, в которых описываются все аварийные и вредные для человека ситуации, возникающие при работе.

Рассмотрены чрезвычайные ситуации, которые могут возникать при работе на установке. В результате, были выявлены опасные и вредные факторы рабочего места, характеризующие процесс взаимодействия трудящихся с окружающей производственной средой. Описано влияние этих факторов на организм человека. Кроме этого, были рассмотрены средства защиты от вредных и опасных факторов.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации проведен литературный обзор, в результате которого были изучены современные методы определения теплостойкости кабельных электроизоляционных материалов. В методической части работы приведена информация о конструкции испытываемых образцов, а также описана методика определения энергии активации и срока службы кабельных изделий.

В экспериментальной части работы для исследуемого материала – этиленпропиленовой резины, было проведено тепловое старение в термостатах при трех различных температурах: 115, 130 и 150 °С. По результатам теплового старения, методом анализа физико-механических характеристик (относительного удлинения), определена энергия активации теплового старения.

Таким образом можно сделать вывод о пригодности этиленпропиленовой резины в качестве изоляции гибких кабелей, предназначенных для работы при температурах +70 °С с минимальным сроком службы 35,7 лет, а при эксплуатации при температурах +90 °С срок службы кабельных изделий с изоляцией из ЭПР составляет 5,11 лет, при соблюдении требований производства, хранения, транспортировки, монтажа и эксплуатации.

Помимо этого, в работе была выполнена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований. В качестве части раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение были рассчитаны материальные затраты на исследование, проведены расчеты сравнительной эффективности выполняемого проекта.

В рамках раздела социальной ответственности был произведен анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, так же рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и чрезвычайные ситуации, которые могут возникать при работе на установке.

Список использованных источников

1. Основы кабельной техники: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [В. М. Леонов, И. Б. Пешков, И. Б. Рязанов, С. Д. Холодный]; под ред. И. Б. Пешкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.;
2. Ковригин Л. А. Основы кабельной техники. Конспект лекций. Пермь, ПГТУ, 2002 г.;
3. Специальные кабельные изделия: учебное пособие / В.М. Аникеев, И.В. Флеминг; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 127 с.;
4. Глупушкин П.М. Кабельные резины. – М.: Энергия, 1986. – 352 с.
5. Григорьян А.Г., Дикерман Д.Н. Технология производства кабелей и проводов с применением пластмасс и резин. – М.: Машиностроение, 2011. – 367 с.;
6. Физика и химия полимеров. – Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О.. Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010 – 45 с.;
7. Книга о полимерах: свойства и применение, история и сегодняшний день материалов на основе высокомолекулярных соединений / Е.Б. Свиридов, В.К. Дубовый; Сев. федеральный университет. – 2-е изд., испр. и доп. – Архангельск: САФУ, 2016. – 392 с.: ил.;
8. 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.;
9. Получение и свойства динамически вулканизированных термоэластопластических материалов: учебное пособие/С.И. Вольфсон, Н.А. Охотина, А.И. Нигматуллина. – Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2012. – 82 с.;

10. Кербер М.Л., Буканов А.М., Вольфсон С.И., Горбунова И.Ю., Кандырин Л.Б., Сирота А.Г., Шерышев М.А. Физические и химические процессы при переработке полимеров М.: Научные основы и технологии. 2013, 314 с.;
11. И.А. Новаков, В.Ф. Каблов, И.П. Петрюк, Микро- и наноструктура и свойства эластомерных материалов. ВолгГТУ, Волгоград, 2012. 112 с.;
12. А.Н. Гайдадин, И.П. Петрюк, В.Ф. Каблов, Каучук и резина, 1, 7-10, 2008;
13. Жданов Ю.С., Попов О.А. Применение этиленпропиленовой резины в кабельной технике // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 10. – С. 70–78;
14. Chang Su Woo, Sung Seen Choi, Member, Seong Beom Lee, and Hyun Sub Kim – «Useful lifetime prediction of rubber components using accelerated testing» – IEEE Transactions on reliability, vol. 59, № 1, March 2010;
15. R. P. Brown, “Rubber product failure” RAPRA Review Report, vol. 13, № 3, 2003;
16. N. Fuse, M. Kanegami, H. Misaka, H. Homma, and T. Okamoto, “Mechanical aging trend in ethylene propylene rubber-insulated safety cables sampled from BWR nuclear power containment,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 21, pp. 571–581 2014;
17. А. Н. Гайдадин, И. П. Петрюк, Д. В. Костерин – Оценка кинетических параметров высокотемпературного старения резин на основе этиленпропиленового каучука;
18. R. Clavreul. – Thermal ageing of Ethylene Propylene Copolymer: Moret sur Loing 0-7083-3580-5, 1996 IEEE Annual Report – Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, San Francisco, October 20-23, 1996;
19. Официальный сайт NEXANS [Электронный ресурс], URL: <https://www.nexans.ru/> (дата последнего обращения 10.02.2020 г.);
20. Официальный сайт компании Рыбкинсккабель [Электронный ресурс], URL: <http://rkz.ru> (дата последнего обращения 10.02.2020 г.);

21. Ю.С. Зуев, Т.Г. Дегтева, Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях. Химия, Москва, 1986. 264 с.;
22. ГОСТ 56756-2015 (ИСО 11357-6:2008) ПЛАСТМАССЫ. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 6. Определение времени окислительной индукции (изотермическое ВОИ) и температуры окислительной индукции (динамическое ТОИ). М.: Стандартформ. 2016. С. 12;
23. ГОСТ 56722-2015 (ИСО 11358-2:2014) ПЛАСТМАССЫ. Термогравиметрия полимеров. Часть 2. Определение энергии активации. М.: Стандартформ. 2016;
24. ГОСТ 27.602–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения;
25. Барашков О.К. Некоторые критические замечания относительно методов предсказания сроков службы кабельных ПВХ-пластиков. КАБЕЛЬ-news, 9, 2008, 50 – 58;
26. Власов А. Б. К вопросу о сроке службы кабелей с резиновой изоляцией // Судостроение. 2003, № 1. С. 45–47.
27. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., И.С. Наумов. – «Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения»: Журнал «Авиационные материалы и технологии», №2 – 2015.
28. Официальный сайт «51 Центральный конструкторско–технологический институт судоремонта» [Электронный ресурс], URL: <http://51cktis.ru/> (дата последнего обращения 10.02.2020 г.);
29. ГОСТ 7866.1-76 Кабели судовые с резиновой изоляцией в резиновой или свинцовой оболочке. Технические условия (с Изменениями N 1-6);
30. Патент СССР № 1791753; Старостина, Прокопчук, Алексеев, Кисель – Способ определения долговечности эластомеров;
31. ГОСТ 11262-2017 ПЛАСТМАССЫ. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартформ. 2018. С. 20;

32. ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011. Измерение толщины и наружных размеров. Методы определения механических свойств. М.: Стандартформ. 2013. С.19;
33. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. М.: Издательство стандартов, 1992. С. 9;
34. ГОСТ ИЕС 60811-1-2-2011. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Часть 1-2. МЕТОДЫ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ, М.: Стандартиформ, 2013. С. 13;
35. Официальный сайт компании Shimadzu [Электронный ресурс], URL: <https://www.shimadzu.ru/ez-test> (дата последнего обращения 11.03.2020 г.);
36. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
37. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)
38. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
39. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
40. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
41. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
42. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
43. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

- 44. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 45. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
- 46. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- 47. ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.
- 48. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
- 49. Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- 50. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.
- 51. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

Приложение I – Календарный план-график проведения исследования

№	Вид работы	Исполнители	T_{ki}														
				Январь		Февраль			Март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	6	<div></div>													
2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель	9	<div></div>													
3	Выбор направления оптимизационной задачи	Руководитель Инженер	3		<div></div>												
4	Календарное планирование работ	Руководитель	2			<div></div>											
5	Анализ литературы по тематике	Инженер	10			<div></div>											
6	Изучение методики испытаний	Инженер	6				<div></div>										
7	Проведение испытаний	Инженер	53				<div></div>										
8	Сравнение результатов, полученных двумя методами	Инженер	7									<div></div>					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	6										<div></div>				
10	Оценка надёжности полученных результатов	Руководитель	9											<div></div>			
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	3												<div></div>		
12	Составление пояснительной записки	Инженер	9													<div></div>	

Примечание: Руководитель ■ ; Инженер —.

ПРИЛОЖЕНИЕ II (справочное)

Section 1. Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Аркадий Алексеевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ИШЭ	Матери Татьяна Михайловна			

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отд. иностранных языков	Воробьева Виктория Владимировна	кандидат филолог. наук		

Introduction

The relevance of the performed work is in requesting higher standards in terms of the quality of produced cable products every year. High-quality insulation of cable products should be characterized by high electrical and mechanical strength, durability, resistance to aging and flexibility, as it is known that 90% of failures are caused by its damage. It is necessary to use modern electrical insulating materials, with higher service time and performance characteristics to ensure these requirements.

The aim of this work is to study the heat resistance of ethylene propylene rubber and recommendations to use it as insulation material for flexible cable products at increased core temperatures.

The accelerated testing on thermal aging shall be performed to determine the service life of insulating material. According the results achieved activation energy shall be found that will help to reduce heat aging process of similar materials in order to reduce time and material costs to confirm different reliability factors.

1. Literature review

1.1 Polymers thermal characteristics. Operating temperatures

The main thermal characteristics of electrical insulating polymer materials are heat resistance, heat stability and thermal endurance.

Heat resistance is the ability of a polymer material to withstand the effects of a high temperature from a heat source without ignition and carbonization.

Heat stability is the ability of a polymer material to maintain its chemical structure unchanged when temperature increases.

Thermal endurance is the ability of an insulating material, or structure, to withstand high temperature of a certain level for a time comparable to the service life, without its unacceptable distortion [1].

Since, temperature is a dominant factor in aging for insulation systems as well as for insulating materials. Thermal endurance classes are applied to assess thermal resistance of electrical insulation of electrical products.

The term of thermal endurance class is applicable to structures of electrical insulation. For materials, the term of temperature index (TI) is used. The temperature index is the temperature at which the resource (service life) of the material is equal to the specified. Table 1 shows all their symbols in accordance with GOST 8865-93.

Table 1 – thermal endurance classes of electrical insulating materials

Thermal endurance class	Y	A	E	B	F	H	200	220	250
Maximum operating Temperature, °C	90	105	120	130	155	180	200	220	250

According to GOST 8865-93 (IEC 85-84) the temperature higher than 250 °C should be increased on interval of 25 °C.

Class “Y” includes materials based on silk, cellulose, and not impregnated and not submerged into liquid dielectric.

Class “A” includes organic fibrous materials, as well as materials impregnated with compounds, varnishes or submerged into a liquid dielectric.

Class “E” includes plastics with a thermoreactive binder and an organic filler. It also includes epoxy, phenol-formaldehyde, polyurethane and polyester compounds and resins.

Class “B” includes similar materials as materials of class “E”, but materials of class “B” contain inorganic components.

Class “F” includes materials of class “B”, which possess organic binders and impregnating materials having increased thermal endurance: epoxy, organosilicon and others.

Class “H” includes materials that use organosilicon resins with increased thermal endurance [2].

Glass transition temperature is an important operational characteristic of a polymer material, since it corresponds to the upper temperature limit of the heat stability of plastics and the lower limit of frost resistance of rubbers and elastics. The low rubber glass transition temperature confirms the absence of the crystalline phase in it.

After prolonged time effect of increased, but not causing destruction, temperature on insulating material (within a short period of time), negative changes due to slow chemical and other processes can be observed - thermal aging of the insulation. The rate of insulation thermal aging is determined by the thermal and thermal oxidative breakdown of the molecules building the insulating material. Breakdown is a reaction causing break of chemical bond in the main chain of a macromolecular.

The dependence of values, which describes the processes of kinetics and thermodynamics of aging for polymers and composite on the basis of polymers, is called the Arrhenius equation and is as follows [1]:

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{R \cdot T},$$

where k is rate constant, E_a is activation energy, T is absolute temperature, R is gas constant.

After taking the logarithm of this expression we get:

$$k = A \cdot e^{\frac{E_a}{R \cdot T}}.$$

Even with a slight excess of the operating temperature, an accelerated process of thermal aging of the insulation is observed, accordingly, wearing out.

Empirical findings show that with an increase in the operating temperature of insulating material by 10 °C, its service life is reduced almost twice. Under the effect of increased temperature, insulating materials can break down, change their chemical properties, plastic deformation and other negative effects are also possible [1].

Table 2 presents operating temperatures range for mostly used (not only for electrotechnical usage) plastics.

Table 2 – Intervals of plastic operating temperature range

Plastics	Operating temperature range, °C
High pressure PE	-70...+70
Low pressure PE	-70...+80
polystyrene resin	-40...+65
polyvinylchloride resin	-40...+70
polypropylene	-20...+130

Generally, the permissible maximum temperature for normal rubbers is equal to 55 °C, temperatures can reach 65 °C for rubbers with increased thermal endurance. The operating temperature for good thiurad rubbers can be up to 75 °C, and up to 90 °C for rubbers based on ethylene-propylene, butyl rubber. The operating temperature for rubbers based on silicone rubber can be above 90 °C [3]. Table 3 shows the comparative characteristics of cables with PVC, PEX and EPR insulation [1, 2, 3].

Table 3 – Comparative characteristics of cables with PVC, PEX and EPR insulation

Property	EPR	PEX	PVC
Long term permissible temperature of core heating during operation, °C	90	90	70
Long term permissible temperature of core heating during overloading, °C	130	130	90
Maximum permissible temperature of core heating during short circuit, °C	250	250	160
Flexibility	good	moderate	moderate
Dielectric strength, kv/mm	up to 60	up to 80	up to 35
Dielectric loss tangent	0.002	0.0004	0.01
Humidity durability	good	moderate	bad

1.2 Aging of polymer materials

During their storage and processing as well as during operation, polymer materials are exposed to impact of various factors as light, heat, radiation, humidity, oxygen, aggressive chemical agents, various mechanical stresses. These factors, acting separately or in combination, can start the development of two types of irreversible chemical reactions in polymers. Breakdown, when a break of chemical bond in the main chain of a macromolecular occurs, and structuring, when the chains crosslink. Changing molecular structure leads to changes of polymer material properties; elasticity can be lost, rigidity and brittleness increase, mechanical strength decreases, dielectric index declines, color changes, a smooth surface becomes rough, etc. The property changes of polymers and products of this kind are called aging. The main reason of polymers aging is their oxidation by molecular oxygen, which proceeds especially fast at increased temperatures, for example, during processing of polymer materials. The oxi-

dation is often accelerated and facilitated by light, impurities of metals of mixed valence, which can be contained in the polymer due to corrosion of the equipment or incomplete removal of the catalyst from it after synthetic process. According to the type of activator and the main agent causing the destruction of polymers, the following types of aging can be distinguished: thermal, thermo-oxidative, light, atmospheric (ozone), radiation and aging under the influence of mechanical loads (fatigue). Thermal destruction is the process of macromolecular breakdown under the influence of increased temperatures. During thermal destruction, some polymers are destroyed with the formation of short chains of various structures (polyethylene, polypropylene), others form monomer [4].

Polymers containing a tertiary or quaternary carbon atom in their chains are exposed to depropagation reactions. Depropagation, being a type of polymer aging, can be intentionally used for the disposal of thermoplastic waste in order to obtain monomers and return them into the stage of polymer synthesis.

Thermooxidative destruction is the process of macromolecular breakdown under the combined action of increased temperatures and oxygen on polymers. The presence of oxygen significantly reduces heat resistance of polymers [5].

Polymer hydroperoxides are the primary products of thermal oxidation, which form free radicals upon decomposition, therefore the process is developing according to a chain mechanism and is autocatalytic. Polymers with macromoleculars not containing C — C bonds are more resistant to thermal oxidative destruction. This can be explained by the easiness of direct addition of oxygen to C -C bonds and the formation of very unstable intense cyclic peroxides. The polymer can also be destroyed under the influence of mechanical stresses. Chemical destruction is the breakdown of macromoleculars under the action of chemical agents. It is peculiar for many heterochain polymers containing groups susceptible to chemical transformations in the main chain. The depth of destruction depends on the nature and amount of low-molecular reagent, the conditions of its impact.

The aging rate depends on the sensitivity of the polymer to mechanical stress growing in polymers during their processing and in the conditions of products use and atmospheric factors such as oxygen, light, ozone, humidity.

Polymers are characterized by the dependence of strength on temperature and time. Under the influence of mechanical loads and temperature, the destruction of polymers shall be considered in terms of thermofluctuational strength theory.

The time from load application to failure shall be determined by the equation:

$$t = t_o \cdot e^{\left(\frac{E_a - \gamma\sigma}{RT}\right)},$$

where t_o is a constant, E_a is the activation energy of an elementary event of the destruction process in the absence of mechanical destruction, σ is mechanical stress, γ is a structurally sensitive ratio depended on the polymer structure [6].

The physical sense of the above equation: the destruction of the material can be observed as a result of accumulating breaks in the interatomic bonds of polymer. The activation energy of breaking interatomic bonds decreases by $\gamma \cdot \sigma$ under the influence of mechanical stresses. The value of E_a is equal to the dissociation energy of interatomic bonds. The activation energy can be designed from independent measurements. Thus, to design the durability of the material at a given load and temperature, it is necessary to determine only the value of the structural sensitive ratio [6].

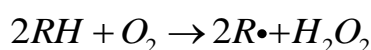
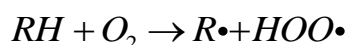
1.3 Physical and chemical nature of ethylene propylene rubber thermal aging

We can observe the breakdown of polymer moleculars in most rubbers under temperatures above 70 °C in closed atmosphere, resulting in significant reduction of properties such as strength and elasticity. With increasing temperature and aging time, rubber becomes brittle and hard and, ultimately, it is destructed. The main cause of aging is the oxidation of rubber, that is, the addition of oxygen in double bonds in the rubber, that makes its moleculars to break down and shorten [6].

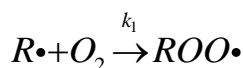
Chemical reactions of elastomers oxidation are in many ways similar to the corresponding oxidation reactions of low grade hydrocarbon. Presently, it has been found that the oxidation of polymers, and in particular elastomers, proceeds according to the mechanism of free-radical chain reactions with degenerated branching. Along with oxygen addition, the removal of volatile oxidation products occurs: carbon dioxide, formaldehyde, water and hydrogen dioxide. Non-volatile products of rubber oxidation (we consider only natural in this case) contain carbonyl, ether, epoxy and peroxide groups. Volatile and nonvolatile compounds of similar composition were found during the oxidation of other elastomers.

According to the theory of Semenov N. N. the processes running during elastomer oxidation can be represented in general in the form of the following scheme [6].

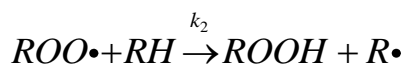
Initiation, consisting in the formation of radicals:



The formed free radical attaches oxygen at a high speed, as the activation energy of this reaction is close to zero: reaction chain development:

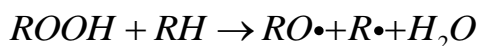
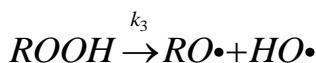


The radical $ROO\bullet$ is involved in the chain transfer reaction, breaking off hydrogen from the rubber molecule, as shown below:



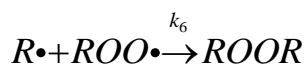
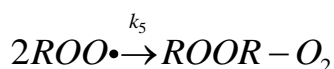
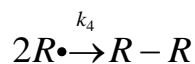
The formation of a three-dimensional network during the process of rubber vulcanizing has a significant effect on the kinetics of oxidation and the nature of the structural changes in the vulcanizates in thermal aging. The effect of secondary reactions of polysulfide bonds on the modification of rubber macromolecules shall be noted. Cross-ties also affect the oxidation of macromolecules.

Stage of chain degenerate branching:





Open circuit:



The break of the reaction chain leads to the interaction of radicals with each other (as a result of recombination or disproportioning) and the formation of inactive substances.

Most of the ingredients constituting polymer insulation affect the aging process in a varying degree. Carbon black and other fillers adsorb anti-agers on their surface, reduce their concentration in rubber and, therefore, accelerate aging. Highly oxidized carbon blacks can be oxidation catalysts. Low-oxidized (furnace, thermal) carbon blacks, as a rule, slow down the oxidation of all types of rubbers. Sulfur and vulcanization accelerators, being chemically active substances, are being involved in the oxidation process and affect the oxidation rate and the nature of rubbers structural changes [7].

Almost all basic physical and mechanical properties change irreversibly during thermal aging of rubbers under increased temperatures.

The change in mechanical properties is quite diverse for various types of rubber, depending on the aging time. Figure 2 shows the effect of the duration of thermal aging on ultimate resistance (a) and ultimate set (b) of rubbers based on natural (1), styrene butadiene (2) and chloroprene (3) rubbers [8].

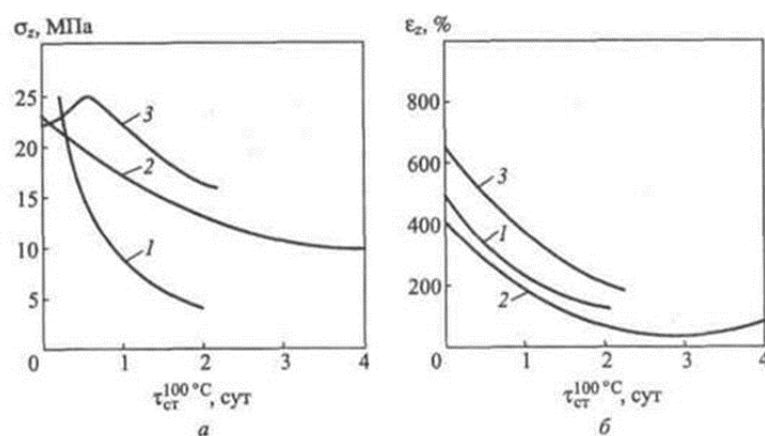


Figure 2 – Shows the effect of the duration of thermal aging on the ultimate resistance (a) and ultimate set (b) of rubbers based on natural (1), styrene butadiene (2) and chloroprene (3) rubbers

Structuring usually occurs during thermal aging of most rubbers based on synthetic rubbers, which is accompanied by a decrease in elasticity and an increase in hardness [9].

Antioxidants shall be introduced into elastomers to increase their thermal stability [10].

Slowing down of the oxidation process can go in two ways, according to the reaction mechanism: initiation inhibition and inhibition of chain development and branching.

The most common anti-agers breaking chains by binding peroxide radicals are phenols and amines, which can easily release hydrogen [9, 10].

The best anti-ager to protect rubbers from thermal and ozone aging, as well as from fatigue, is IPPD, but it is characterized by relatively high volatility and is easily extracted from rubbers with water (especially acidified).

Secondary aromatic diamines significantly activate sulfur vulcanization accelerators and can cause vulcanization of rubber compounds. Derivatives with alkyl substituents on nitrogen atoms are the most active in this regard. Effective anti-agers include substituted phenols. As for amines, the effectiveness of substituted phenols is deter-

mined by the ability to interact with polymer radicals and is characterized by the easiness of detachment of the hydrogen atom of the phenolic group and the stability of the resulting radical.

Phenols, as a rule, are less effective stabilizers than secondary mono- and diamines, but they do not change the color of vulcanizers in aging process and, thus, are widely used as non-staining anti-agers in colored rubbers [9, 10].

Section conclusion

In the course of literature review, we described the thermal properties of polymeric materials and their operating temperatures. For normal rubbers, the permissible maximum temperature shall be equal to 55 °C, and for rubbers on the basis of ethylene-propylene, butyl rubber equal to 90 °C, which indicates the prospects of using ethylene-propylene rubber for insulating flexible cables. In addition, we studied the aging process of polymeric materials. The main reason of aging is rubber oxidation, i.e., the addition of oxygen in double bonds in the rubber, that makes its moleculars to break down and shorten. Special elements, anti-agers which can significantly increase the service life of the insulation or sheath of cable products, shall be added to the rubber to reduce the speed of the thermal aging process.