

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

Энергетический институт
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра электрических комплексов и материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оценка влияния механической деформации на электрическую прочность изоляции кабельных изделий.

УДК 621.315.336:537.22:539.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гаврилюк П.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Леонов Андрей Петрович	К.Т.Н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Извеков Владимир Николаевич	К.Т.Н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.Т.Н., профессор		

Томск – 2017 г.

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

Институт – Энергетический
Направление подготовки – 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Уровень образования – Бакалавриат
Кафедра – «Электротехнические комплексы и материалы»
Период выполнения - весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.16	Обзор отечественной литературы	20
11.04.17	Методика проведения исследований	15
30.05.17	Экспериментальная часть	20
03.06.17	Обсуждение результатов	10
06.06.17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
13.06.17	Социальная ответственность	15
14.06.17	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Леонов Андрей Петрович	К.Т.Н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н., профессор		

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

Институт Энергетический
Направление подготовки (специальность) 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭКМ
_____/_____/_____
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)
Гарганеев А.Г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Гаврилюку Павлу Сергеевичу

Тема работы:

Оценка влияния механической деформации на электрическую прочность изоляции кабельных изделий.

Утверждена приказом директора (дата, номер) 25.05.2017 №3468/е

Срок сдачи студентом выполненной работы: 15.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Справочные материалы, ТУ, ГОСТы, испытание материалов и КИ, периодические издания по теме работы
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Литературный обзор для описания существующих подходов к изучению;2. Методика и программа испытания;3. Испытания образцов на пробой;4. Проведения анализа зависимости электрической прочности от механических нагрузок;5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;6. Социальная ответственность
Перечень графического материала	Презентация в Power Point.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Извеков В.Н.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.02.2017
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гаврилюк Павел Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г3В	Гаврилюк Павел Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	15 % доплаты и надбавки; 12-15 % дополнительная заработная плата; 30% районный коэффициент; 16% накладные расходы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30,2 % от ФОТ на 2016 год

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3В	Гаврилюк Павел Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Гаврилюку Павлу Сергеевичу

Институт	ТПУ ЭНИН	Кафедра	ЭЖМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования	Исследование влияния деформации на кратковременную электрическую прочность полимерной изоляции силовых, нефтепогружных кабелей
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Профессиональная социальная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	Вредные факторы: электромагнитные излучения; физическая и умственная утомляемость; концентрация вредных веществ в воздухе; шум; микроклимат. Опасные факторы: поражение электрическим током. Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия
2. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС; – разработка решений по обеспечению экологической безопасности
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар. – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков В.Н.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гаврилюк П.С.		

Реферат

Темой данной работы является оценка влияния механической деформации, а также эксплуатационных факторов (температуры, пластовой жидкости) на электрическую прочность изоляции макетных образцов нефтепогружного кабеля. Работа состоит из 5 глав и заключения. Имеет 96 страниц, 27 рисунков, 18 таблиц, 26 формул и два приложения.

Ключевые слова: ИЗОЛЯЦИЯ, ПРОБОЙ, СИЛОВЫЕ КАБЕЛИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.

В первой главе дается литературный обзор существующих данных по вопросу вида и назначения силового кабеля, рассмотрены характеристики изоляции силовых кабелей, а также влияние на их изоляцию различных факторов. Приведены основные закономерности пробоя и старения полимерных диэлектриков.

Вторая глава посвящена рассмотрению методических вопросов по проведению испытаний на пробой, выбору образцов и установки для проведения испытаний.

В третьей главе рассмотрены полученные экспериментальные результаты исследования зависимости пробивного напряжения от механических нагрузок и эксплуатационных факторов. Рассмотрены выводы по полученным результатам.

В четвертой главе рассмотрена экономическая эффективность и значимость работы.

Пятая глава посвящена разделу «Социальная ответственность».

Обозначения и сокращения

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

СК – силовой кабель;

ТПЖ – токопроводящая жила;

БСЭП – блоксополимер этилена и пропилена;

НПК – нефтепогружной кабель;

$U_{пр}$ – пробивное напряжение;

$E_{пр}$ – электрическая прочность;

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1. Литературный обзор.....	12
1.1. Назначение, классификация и условия эксплуатации силовых кабелей	12
1.2. Основные электрофизические параметры, характеризующие свойства изоляции кабельных изделий.....	20
1.3. Обзор методов определения электрической прочности	31
1.4. Выводы. Постановка задач на исследование.....	35
Глава 2. Методическая часть.....	37
2.1. Методика подготовки макетных образцов.....	37
2.2. Методика определения пробивного напряжения изоляции макетных образцов.....	39
Глава 3. Экспериментальная часть.....	41
3.1. Объект исследования	41
3.2. Результаты определения влияния механических нагрузок и эксплуатационных факторов (температура, пластовая жидкость) на пробивное напряжение изоляции макетных образцов.....	44
3.3. Обсуждение результатов.....	46
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
4.1. Обоснование и SWOT-анализ научного исследования	49
4.2. Планирование научно-исследовательской работы	52
4.3. Составление сметы затрат на разработку научного исследования.....	57
4.4. Определение ресурсоэффективности исследования.....	61
4.5. Выводы по главе.....	62

Глава 5. Социальная ответственность.....	64
5.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	65
5.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	66
5.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	67
5.4. Экологическая безопасность.....	75
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
5.7. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	86
5.8. Вывод по главе.....	89
Заключение.....	90
Список использованных источников.....	91
Приложение А.....	94
Приложение Б.....	96

Введение

На данный момент силовые кабели используются во многих отраслях промышленности, составляют основу энергетических кабельных линий. Во многом надежность данных изделий зависит от стойкости изоляции к механическим воздействиям.

В настоящее время нефтепогружные кабели являются одним из самых распространенных типов силовых кабелей. Они предназначены для питания электрических двигателей, центробежных насосов для подъема нефти. В процессе эксплуатации их изоляция подвергается значительным изгибающим, крутящим нагрузкам, воздействию сил трения при подъеме и опускании системы в скважину, воздействию давления, пластовой жидкости и температуры окружающей среды.

В литературе недостаточно сведений о влиянии механических нагрузок на электро-физические параметры изоляции питающих кабелей. В связи с этим целью данной работы является оценка влияния механических нагрузок и пластовой жидкости на пробивное напряжение изоляции и разработка рекомендаций по определению стойкости изоляции НПК к механическим нагрузкам.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Назначение, классификация и условия эксплуатации силовых кабелей

Согласно ГОСТ 15845-80, *силовой кабель (СК)* – кабель, для передачи электрической энергии токами промышленных частот [16]. Таким образом, можно сказать, что силовой кабель это – электрический кабель, предназначенный для передачи электроэнергии на расстояние от источника к ее потребителям.

Основными элементами силовых кабелей являются:

- токопроводящие жилы;
- изоляция;
- оболочки и защитные покровы.

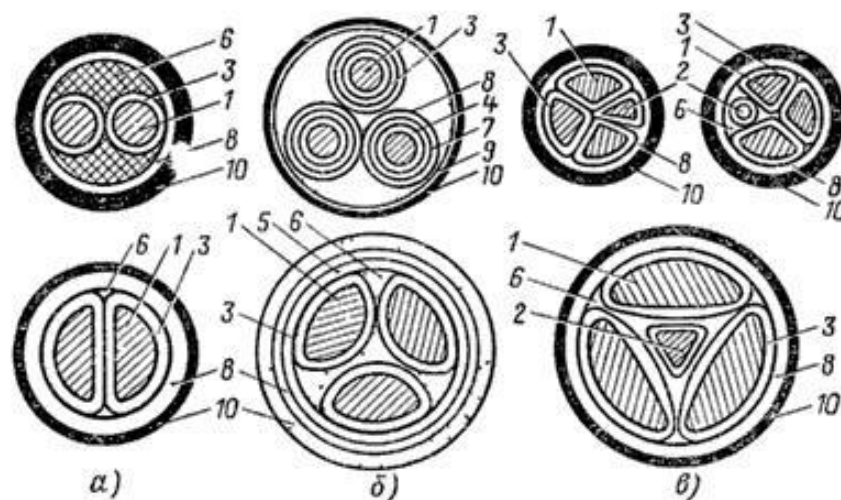


Рис. 1.1.1. Сечения силовых кабелей:

а) двужильные силовые кабели с круглыми и сегментными жилами; б) трехжильные силовые кабели с поясной изоляцией и с отдельными оболочками; в) четырехжильные силовые кабели с нулевой жилой секторной, круглой и треугольной формы; 1 – токопроводящая жила; 2 – нулевая жила; 3 – изоляция жилы; 4 – экран на токопроводящей жиле; 5 – поясная изоляция; 6 – наполнитель; 7 – экран на изоляции жилы; 8 – оболочка; 9 – броня; 10 – наружный защитный покров.

Кроме этих основных элементов, СК могут включать в себя экраны, и заполнители, нулевые и жилы защитного заземления [12] (рис. 1.1.1).

В зависимости от материала изоляции различают следующие типы силовых кабелей:

– *с резиновой изоляцией.* Достоинство резиновой изоляции – это довольно высокая гибкость. Но со временем она теряет свои защитные свойства, вследствие чего изменяются химические свойства материала. Это негативно сказывается на надежности изоляционного слоя.

– *с изоляцией из пропитанной бумаги свинцовой или алюминиевой оболочке.* Основным недостатком бумажной пропитанной изоляции является ее большая гигроскопичность, поэтому для защиты изоляции от увлажнения в процессе хранения, прокладки и эксплуатации кабели заключаются в металлическую оболочку. Среди явных недостатков такой изоляции – нестойкость бумаги к любым внешним воздействиям.

– *с пластмассовой изоляцией.* Сюда входят такие виды пластмасс как: *поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ), сшитый полиэтилен (СПЭ), термоэластопласт (ТЭП), блок сополимер этилен-пропилен (БСЭП)* и другие. Изоляция из *ПЭ* (в том числе и *СПЭ*) отличается высокой стойкостью к различным агрессивным средам, но неустойчивы к повышенным температурам, не считая вулканизированный полиэтилен, который не боится перепадов температур. *ПВХ* – наиболее дешевый вид изоляции, так отличается своей эластичностью, но из-за добавления пластификаторов немного теряет свои защитные свойства и стойкость к химическим воздействиям. *БСЭП* – довольно экономичный термопластик. Обладает низким влагопоглощением, высокими термической и химической стойкостями, что позволяет изделиям из данного материала долгое время находиться в жидких агрессивных средах. Также имеет значительную ударопрочность и повышенную износостойкость. *Фторполимеры* – это изоляционный материал защитной оболочки кабеля. Данный материал имеет высокие характеристики защиты при очень широком диапазоне температур

(от -190 до +260 °С), а также отличается высокой степенью устойчивости к химическим и другим агрессивным средам, обладает замечательными электрическими и механическими свойствами [7].

В течение эксплуатации кабельных изделий, изоляция подвергается множеству различных воздействий, приводящих к изменению различных параметров, которые влияют на свойства и работоспособность силовых кабелей. Основные причины, вызывающие старение изоляции, это – температура, воздействия окружающей среды (температура воздуха, влага, солнечное излучение, загрязнения и т.д.), влияние электрического поля, механические воздействия, а также влияние частичных разрядов.

Влияние высоких и низких температур, влажности, солнечной радиации и других внешних факторов обуславливает изменение электрофизических, механических и иных свойств электроизоляционных материалов.

Влияние температуры. Температура оказывает значительное влияние на изоляцию, а также на сопротивление жил кабеля. Электрическое сопротивление токопроводящих жил возрастает с увеличением температуры.

При повышении температуры удельное сопротивление электроизоляционных материалов, как правило, существенно уменьшается (рис 1.1.2).

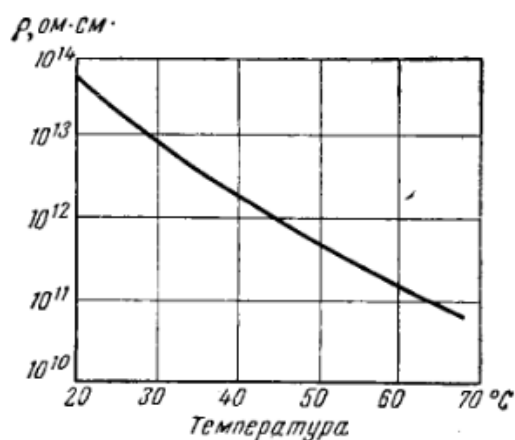


Рис. 1.1.2. Зависимость удельного объемного сопротивления поливинилхлоридного пластика от температуры.

Температура влияет также и на механические характеристики. Нагрев или охлаждение приводит к расширению или возвращению в исходное состояние. При этом диэлектрик при повышении температуры становится менее твердым, тем самым, более подвержен механическим повреждениям. Колебания температуры могут привести к возникновению опасных механических напряжений в некоторых частях изоляции. Кроме того, при тепловом воздействии происходит высыхание изоляции, что приводит к трещинам и скалыванию изолирующего слоя, и, соответственно, электрическому пробое.

Для оценки стойкости изоляции к влиянию температуры существуют так называемые *классы нагревостойкости* (табл. 1.1).

Согласно ГОСТ 8865-93, класс нагревостойкости электротехнического изделия отражает максимальную рабочую температуру, свойственную данному изделию при номинальной нагрузке и других условиях. Изоляция под действием данной максимальной температуры должна иметь нагревостойкость не менее температуры, соответствующей классу нагревостойкости электротехнического изделия [18].

Таблица 1.1. Классы нагревостойкости и соответствующие температуры.

Обозначение класса нагревостойкости	Температура, °С
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
250	250

Воздействие влаги на электроизоляционные материалы.

Присутствие даже малого количества *воды* может довольно сильно уменьшить ρ диэлектрика.

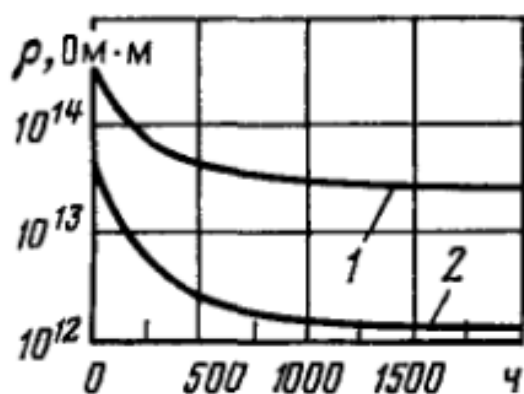


Рис.1.1.4. Зависимость ρ полиэтилентерефталатной пленки толщиной 45 мкм от длительности увлажнения:

1 – в воде при 20 °С; 2 – в условиях 100 %-ной относительной влажности при 20 °С.

Для электроизоляционных материалов, длительное воздействие абсолютной влажности является опасным, так как при этом происходит активная абсорбция влаги, в результате чего они меняют свои электрические свойства (рис. 1.1.4).

Приведенный на рисунке 1.1.4 пример показывает, что условия 100% влажности более негативно сказываются на удельном сопротивлении. Это объясняется тем, что интенсивность проникновения паров воды в поры диэлектрика выше, чем у воды. Вода из-за краевого угла смачивания не проникает в микропоры или проникает с большим замедлением. Проникновение паров воды в микропоры и последующая их конденсация внутри материала происходит даже после гидрофобизации. После этого у материалов водопоглощение резко уменьшается, а влагопоглощение не меняется, так как эта характеристика зависит от плотности материалов. Коэффициент диффузии и растворимости воды в полимерных материалах является функцией относительной влажности [5].

Также стоит отметить, что влажность приводит к коррозии самих жил, выступающих в качестве проводников, если изоляция будет обладать достаточной гигроскопичностью, что бы вода просочилась сквозь поры.

Помимо этого влага сказывается на тангенсе угла диэлектрических потерь $tg\delta$ и электрической прочности $E_{пр}$ (рис. 1.1.5, 1.1.6). В большинстве случаев, $tg\delta$ почти прямо пропорционален количеству поглощенной влаги. Это можно объяснить ростом тока проводимости в увлажненном материале.

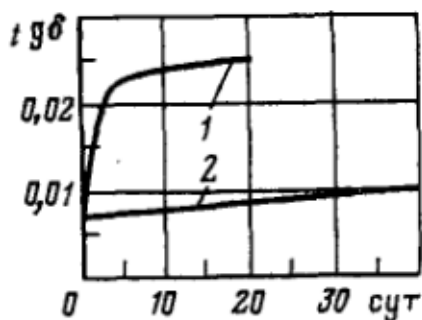


Рис. 1.1.5. Зависимость $tg\delta$ полиарилатной пленки от времени увлажнения при 20 °С: 1 – в условиях 100 %-ной относительной влажности; 2 – в воде.

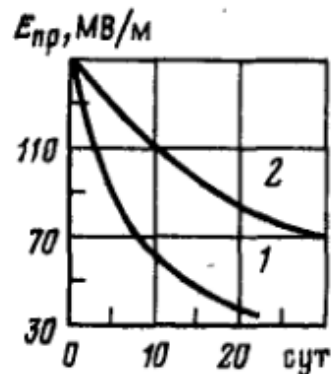


Рис. 1.1.6. Зависимость $E_{пр}$ полиимидной пленки от длительности увлажнения: 1 – в воде; 2 – в условиях 100%-ной относительной влажности.

При оценке электрической прочности полимеров в процессе увлажнения основным критерием является характер распределения влаги в виде непрерывных каналов (трикинга), замкнутых, ячеистых скоплений и растворов полимера. На снижение $E_{пр}$, так же как и ρ влияют непрерывные каналы влаги. В других случаях наряду с увеличением $tg\delta$ происходит тепловой пробой.

Таким образом, воздействие влаги приводит к ухудшению электрофизических свойств изоляции.

Пыль и прочие загрязнения, оседая на кабели, препятствует теплоотводу, что приводит к перегреву. Кроме того, пыль может иметь в своем составе токопроводящие частицы, создавая токопроводящие мостики для прохождения электрического тока между изолированными жилами.

Пыль повреждает защитные покрытия, делая поверхность изоляционных материалов шероховатой, вызывает быстрый износ подвижных частей оборудования и т.д.

Солнечное излучение также негативно сказывается на электроизоляционных материалах. Наиболее губительное действие оказывает ультрафиолетовая часть спектра. Особенно подвержены разрушению природный каучук и материалы на его основе, эпоксидные смолы, полиэтилен и др., в которых со временем происходит процесс старения, ухудшаются изоляционные и физико-механические параметры. Два главных фактора, приводящих к старению, это озон и световое излучение. Катализаторами выступают температура, влажность и кислород.

Светоокисление изоляции происходит быстрее в местах с большей интенсивностью освещения. Последствиями светоокисления резины, пластмассы, лакокрасочных покрытий может быть липкая или твёрдая поверхность, изменение цвета, появление хаотичной сетки трещин. Данные визуальные проявления присутствуют не по всей толщине, а только в верхнем слое, что отличает старение при солнечном свете от теплового старения. Улучшается газопроницаемость, изгибающие или растягивающие нагрузки при эксплуатации приводят к образованию трещин. Кроме того, температура почвы, а также поверхностей различных предметов электроизоляционных конструкций под воздействием инфракрасных лучей, в некоторых местах на планете, может превышать температуру воздуха в тени более чем на 100 °С.

Механизм разрушения диэлектрика под действием *электрического поля* довольно сложен и многообразен [1]. Он, в зависимости от температуры, вида воздействующего напряжения, времени его приложения, типа диэлектрика, условий испытания, его структуры и др. может протекать по разному. Также имеет место развитие ударной ионизации, нарушение тепловой устойчивости, перегрев диэлектрика при высоких электрических потерях и процессы электрохимического старения при длительном

воздействии электрического поля (например, под действием частичных разрядов).

Возникновение ионизации и возрастание $\text{tg}\delta$ при переменном напряжении являются важнейшими факторами, ограничивающими возможность повышения напряженности электрического поля в изоляции.

Иногда $\text{tg}\delta$ практически не зависит от напряжения и диэлектрические потери при повышении E возрастают пропорционально E^2 . Но иногда зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения имеет иной характер (рис. 1.1.7). С ионизацией связано образование короны или других частичных разрядов.

Частичные разряды – это локальные пробой ослабленных участков изоляции, которыми являются газовые включения (полости). Это объясняется тем, что электрическая прочность и диэлектрическая проницаемость газов, в большинстве случаев значительно ниже, чем соответственные характеристики твердых электроизоляционных материалов.

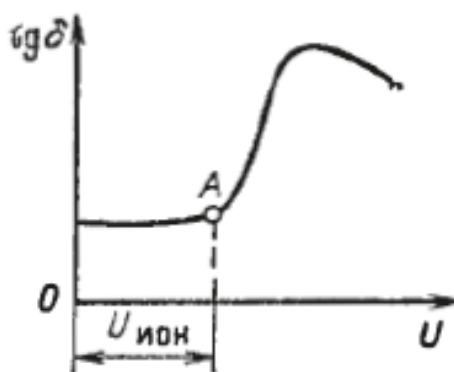


Рис. 1.1.7. Кривая ионизации электрической изоляции

Точку A на графике часто называют точкой ионизации, т.к. она соответствует началу ионизации газовых включений. Процесс ионизации негативно сказывается на изоляции. Например, действие ионизации сказывается на проводимости пленок, которые обволакивают газовые включения, в пропитывающем составе кабеля происходят процессы

полимеризации и конденсации с выделением водорода и превращением части пропитывающего состава (массы) в воскообразное изоляционное вещество, называемое обычно воском. При этом размеры газовых включений вследствие их деления уменьшаются, а напряженность ионизации в них увеличивается. Напряженность начала ионизации – это предел напряженности, допустимой для изоляции в процессе эксплуатации.

Ко всем описанным условиям, влияющим на характеристики изоляции, нужно добавить и различные *механические напряжения*. В процессе эксплуатации кабели подвергаются различного рода механическим воздействиям: растяжение, сгибание, разрыв, скручивание и др. – все это негативно сказывается на различных электрофизических параметрах изоляции.

Для нефтегазовой промышленности огромное значение имеет обеспечения надежности нефтепогружных кабелей (НПК) для питания нефтепогружных насосов. В настоящее время глубина основной части скважин составляет 2000-4500 м и более. В скважину погружается центробежный насос и двигатель, питание которых осуществляется через силовую кабель.

На изоляцию нефтепогружных кабелей воздействуют повышенные температуры (до 200°C), давление (более 100 МПа) механические нагрузки, пластовая жидкость, перепад давления и температуры по длине кабельной линии во время эксплуатации, поэтому проблема надежности нефтепогружных кабелей стала наиболее важной.

1.2 Основные электрофизические параметры, характеризующие свойства изоляции кабельных изделий

Свойства полимерной изоляции характеризуется рядом параметров: сопротивление изоляции ($R_{из}$), удельное объемное сопротивление (ρ_v), диэлектрическая проницаемость (ϵ) и емкость (C_x), тангенс угла

диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$), пробивное напряжение $U_{\text{пр}}$ (электрическая прочность $E_{\text{пр}}$). Также характеризуются механическими свойствами – гибкостью, прочностью, влагостойкостью и маслостойкостью.

Сопротивление. По назначению, изоляция не должна пропускать электрический ток. Однако «идеальных» диэлектриков не существует, и практические все электроизоляционные материалы при приложении напряжения пропускают некоторый, обычно незначительный ток - *ток утечки*.

Проводимость изоляции $G_{\text{из}}$ – физическая характеристика электроизоляционных материалов, которая показывает отношение сквозного тока утечки через материал $I_{\text{из}}$, А, к приложенному к нему постоянному напряжению U , В [4]:

$$G_{\text{из}} = I_{\text{из}} / U. \quad (1.2.)$$

Величина $R_{\text{из}}$, Ом, обратная величине $G_{\text{из}}$ – *сопротивление изоляции*.

$$R_{\text{из}} = U / I_{\text{из}} \quad (1.3.)$$

Также вводятся понятия *объемного* R_v и *поверхностного* R_s сопротивлений изоляции

$$R_v = \rho_v \left(\frac{d}{S} \right), \text{ Ом}, \quad (1.4.)$$

$$R_s = \rho_s \left(\frac{l}{S} \right), \text{ Ом}, \quad (1.5.)$$

где ρ_v , Ом·м – *удельное объемное сопротивление диэлектрика*; ρ_s , Ом – *удельное поверхностное сопротивление диэлектрика*; S – площадь сечения диэлектрика, через которое проходит ток (площадь электродов), м^2 в первом случае, и ширина поверхности диэлектрика (в направлении, перпендикулярном прохождению тока), м, во втором; d , м – толщина диэлектрика; l , м – длина поверхности диэлектрика;

Удельное сопротивление характеризует способность вещества проводить электрический ток.

Для полимерных электроизоляционных материалов, значения ρ , при нормальной температуре и нормальной влажности воздуха, лежат в пределах $10^{14} - 10^{17}$ Ом·м.

Диэлектрическая проницаемость и емкость. Под воздействием электрического поля, в диэлектрике происходят так называемые процессы *поляризации*. Процесс поляризации представляет собой изменение расположения в пространстве имеющих электрические заряды частиц диэлектрика, причем диэлектрик приобретает индуцированный (наведенный) электрический момент и в конденсаторе, образованном диэлектриком с электродами, образуется электрический заряд Q , Кл, равный:

$$Q = CU, \quad (1.6)$$

где C – электрическая емкость участка изоляции с электродами, Ф, и U – приложенное напряжение, В [4]. Для изоляции кабелей часто используют понятие удельной (погонной) емкости, т.е. емкости, отнесенной к единице длины кабеля. Параметр, характеризующий способность материала образовывать емкость называется *диэлектрической проницаемостью* ϵ .

Значение ϵ вакуума принято единице, а любого другого диэлектрика – больше единицы. Следовательно, относительная диэлектрическая проницаемость среды показывает, во сколько раз напряженность электрического поля в этой среде меньше электрического поля в вакууме.

Тангенс угла диэлектрических потерь. *Диэлектрические потери* – электрическая мощность, поглощаемая в участке изоляции под действием приложенного напряжения. Этот процесс сопровождается выделением теплоты. Значение диэлектрических потерь P , Вт, участка изоляции с сопротивлением $R_{из}$, Ом, находящегося под постоянным напряжением U , В, определяется:

$$P = \frac{U^2}{R_{из}} = I^2 R_{из}, \quad (1.7)$$

где I – сквозной ток утечки через изоляцию, А.

Однако, диэлектрические потери под переменным напряжением рассматриваются гораздо чаще. В этих случаях, диэлектрические потери равны:

$$P = U^2 \omega C \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (1.8)$$

где U – приложенное к участку изоляции синусоидальное напряжение, В; ω – угловая частота, рад/с; C – емкость участка изоляции, Ф; δ – *угол диэлектрических потерь*, дополняющий до 90° угол сдвига фаз φ между током I в изоляции и напряжением (рис .1.2.1). Тангенс этого угла равен отношению активной I_a и реактивной I_p составляющей тока I :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_p}. \quad (1.9)$$

Угол диэлектрических потерь – важный параметр электроизоляционного материала. Он, или, если быть точнее его тангенс, характеризует качество электроизоляционного материала. Чем ниже тангенс угла диэлектрических потерь, тем выше качество диэлектрика. Также, для качественной оценки применяют характеристику, обратную $\operatorname{tg} \delta$ и называемую *добротностью изоляции, Q*.

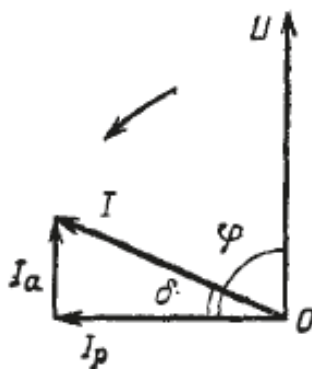


Рис. 1.2.1. Векторная диаграмма токов в диэлектрике с потерями

Высокие диэлектрические потери ведут к разогреву и тепловому пробое диэлектриков в сильных электрических полях и снижению добротности. В связи с этим стремятся снизить $\operatorname{tg} \delta$ диэлектрических материалов, что возможно, если известна природа диэлектрических потерь.

По физической природе диэлектрические потери можно разделить на пять основных видов:

- потери, обусловленные сквозной электропроводностью;
- потери, обусловленные релаксационными (медленными) видами поляризации;
- потери, обусловленные неоднородностью структуры (миграционные);
- ионизационные диэлектрические потери;
- резонансные диэлектрические потери.

В зависимости от химического строения, полярности, компонентного состава, однородности, в твердых диэлектриках возможно существование всех видов диэлектрических потерь.

Механические и физико-химические свойства. Различают следующие механические свойства, которыми характеризуют изоляцию силовых кабелей – упругость, прочность и твердость.

Упругость. При приложении силы к диэлектрику он будет деформироваться. Если прекратить действие силы, то упругий материал компенсирует действие этой силы, т.е. восстановит свои исходные форму и размер. Таким образом, можно сказать, что *упругость* – это способность материала возвращаться в изначальную форму, после снятия механического напряжения.

Чтобы описать относительную упругость применяют два типа параметров материала:

1) *Модуль упругости* показывает механическое напряжение, которое необходимо приложить для достижения определенного уровня деформации. Модуль показывает насколько сложно деформировать материал – чем больше модуль, тем труднее;

2) *Предел упругости* – максимальное напряжение, после которого материал больше не ведет себя как упругий, и будет иметь место

пластическая деформация. То есть после снятия напряжения материал сохранит некую остаточную деформацию.

Прочность. Упругие тела не могут выдержать бесконечно большого механического напряжения. Если, к примеру, подвергнуть резиновый образец линейно увеличивающейся механической нагрузке – с некоторого значения напряжения деформация начнет расти быстрее, чем линейно (рис. 1.2.2). Если снять напряжение, то форма образца не восстановится. Соответственно, существует предел напряжения, после которого тела не смогут возвратиться в изначальную форму, его называют *пределом текучести* σ_T . Если дальше повышать напряжение, это приведет к разрушению образца при напряжении, называемом *пределом прочности* $\sigma_{пр}$.

Многие полимеры имеют широкий участок пластической деформации ($\sigma_T - \sigma_{пр}$), см. рис. 1.2.2 [8]. Они могут вытягиваться в десятки раз, такие вещества называют *пластичными*, а если деформации обратимы – *эластичными*.

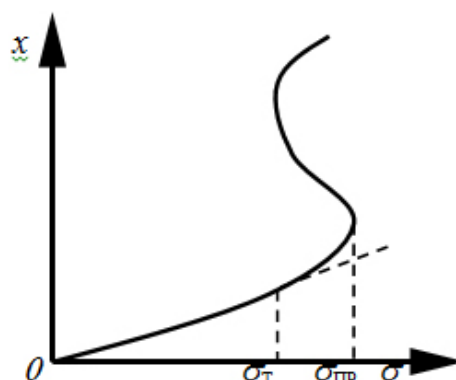


Рис. 1.2.2. Зависимость деформации x от механического напряжения σ

Механическая прочность электроизоляционных материалов оценивается рядом механических характеристик. Их вычисляют при испытании образцов определенных размеров и формы.

Предел прочности материала при растяжении σ_p вычисляют по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_0} \text{ Н/м}^2, \quad (1.10)$$

где P_p – разрушающее усилие при растяжении (разрыве) образца материала, Н; S_0 – площадь поперечного сечения образца материала до испытания, м².

Относительное удлинение при растяжении e_p вычисляют по формуле

$$e_p = \frac{\Delta l_p}{l_0} 100\%, \quad (1.11)$$

где Δl_p – абсолютная величина удлинения образца материала в момент разрыва, мм; l_0 – длина образца материала до испытания (до разрыва), мм.

Предел прочности материала при статическом изгибе $\sigma_{и}$ вычисляется по формуле

$$\sigma_{и} = \frac{1,5P_{и}L}{bh^2} \text{ Н/м}^2, \quad (1.12)$$

где $P_{и}$ – разрушающее усилие, приложенное посередине образца при изгибе, Н; L – расстояние между опорами, на которых располагается образец в испытательной машине, м; b – ширина образца, м; h – толщина образца, м.

Предел прочности материала при сжатии σ_c определяют по формуле

$$\sigma_c = \frac{P_c}{S_0} \text{ Н/м}^2, \quad (1.13)$$

где P_c – разрушающее усилие при сжатии образца материала, Н; S_0 – площадь поперечного сечения образца материала до испытания, м².

Ударная вязкость (предел прочности образца при динамическом изгибе) вычисляют по формуле

$$a = \frac{A_{уд}}{S_0} \text{ Дж/м}^2, \quad (1.14)$$

где $A_{уд}$ – работа, затраченная на разрушение образца материала при ударном изгибе, Дж.

Кроме всех перечисленных механических, в зависимости от необходимости в эксплуатации, изоляция силовых кабелей должна обладать рядом *физико-химических характеристик*: влаго- и водостойкость, водопоглощение и набухание, бензо- и маслостойкость.

Влаго- и водостойкость диэлектрика – его способность выдерживать воздействие атмосферы, близкой к состоянию насыщения водяным паром, и

(или) воздействие водяной среды без недопустимого ухудшения его свойств [Корицкий II том].

Влаго- и водопоглощение – способность диэлектрика впитывать влагу из окружающего воздуха, или воду в непосредственном контакте с жидкостью. Значение этого показателя, для качественной изоляции, должно быть как можно меньше.

Бензо- и маслостойкость диэлектрика называют его способность противостоять длительному воздействию бензина, других жидководородных топлив и (или) масел [11].

Контакт с жидкими средами (водой, бензином, маслом и др.), вызывает *набухание* диэлектрика – изменение линейных размеров вследствие впитывания жидкости порами диэлектрика. Это приводит к ухудшению механических свойств и изменению линейных размеров диэлектрика.

Пробивное напряжение (электрическая прочность). Электрическая изоляция не сможет выдержать неограниченно высокого поданного к ней напряжения. Рано или поздно, при повышении напряжения произойдет пробой изоляции, при этом ток утечки чрезвычайно возрастет, а сопротивление изоляции снизится.

Согласно ГОСТ 21515-76, *пробой* – это явление образования в диэлектрике проводящего канала под действием электрического поля [17].

Минимальное электрическое напряжение, приложенное к диэлектрику, приводящее к пробую, называется *пробивным напряжением* $U_{пр}$. Для сравнения свойств различных материалов удобнее пользоваться *электрической прочностью*.

Электрической прочностью называют напряженность электрического поля, при достижении которой происходит пробой.

В случае однородного электрического поля она равна:

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h} \text{ В/м,} \quad (1.15)$$

где h – толщина диэлектрика в точке пробоя, м. Чаще всего при возрастании толщины значение $E_{пр}$ уменьшается, т.е. $U_{пр}$ возрастает с увеличением толщины не линейно, а медленнее (рис. 1.2.3).

Основными видами пробоя, в настоящее время, являются:

- электрический пробой;
- тепловой пробой;
- электрохимический пробой (электрическое старение).

Рассмотрим кратко основные закономерности каждой формы пробоя.

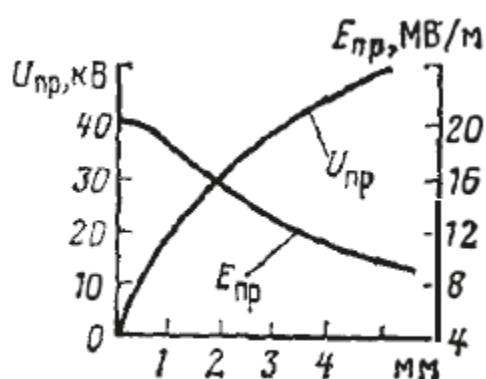


Рис. 1.2.3. Типичная зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ и электрической прочности $E_{пр}$ от толщины диэлектрика

Электрический пробой представляет собой непосредственное разрушение структуры диэлектрика путем воздействия сил электрического поля на электрически заряженные частицы в диэлектрике. Данный вид пробоя, как правило, наблюдается при устранении возможности развития теплового пробоя и малой длительности воздействия приложенного напряжения. Развитие электрического пробоя происходит практически мгновенно.

Электрическая форма пробоя характеризуется более слабой зависимостью электрической прочности твердых диэлектриков от температуры, толщины образца и времени приложенного напряжения, чем при тепловом пробое (рис. 1.2.4).

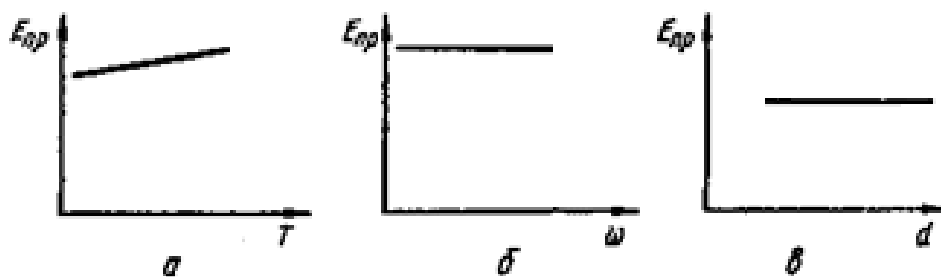


Рис. 1.2.4. Основные характеристики электрического пробоя

Тепловой пробой связан с повышением температуры изоляции, находящейся в электрическом поле. В диэлектрике, находящимся под напряжением, выделяется теплота потерь и, следовательно, его температура повышается, из-за чего потери еще сильнее увеличиваются. Вследствие данного процесса диэлектрик может сильно измениться (расплавиться, обуглиться и т.п. в зависимости от природы материала) и его электрическая прочность снизится настолько, что произойдет пробой. Для возникновения пробоя, в данном случае, достаточно чтобы разогрелось любое место диэлектрика, где теплоотдача хуже или удельные потери повышены, а средняя температура всего объема диэлектрика может оставаться мало отличающейся от начальной, как до приложения к диэлектрику напряжения [3].

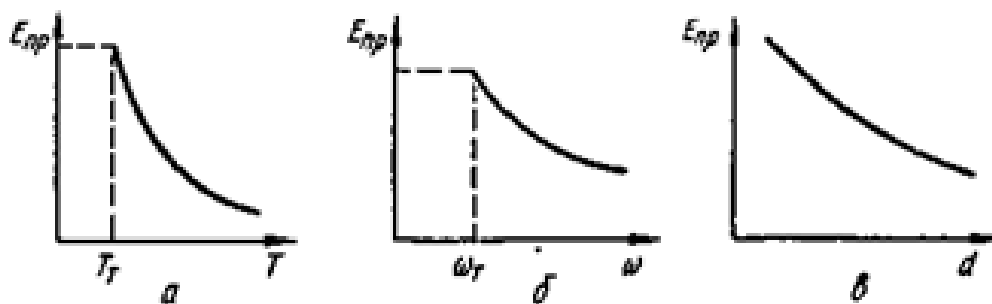


Рис. 1.2.5. Характеристики электротепловой формы пробоя

Электротепловой пробой отличается сильной зависимостью $E_{пр}$ от толщины образцов d (ухудшение теплоотвода), температуры среды в которой находится диэлектрик T , а также частоты электрического поля (рис. 1.2.5).

На рисунке 1.2.6 показана зависимость пробивного напряжения от времени его приложения при электротепловом пробое. Если приложить к диэлектрику напряжение U_1 на промежуток времени меньший, чем t_1 , и после снять напряжение, то диэлектрик не будет пробит, так как он не успеет разогреться. Напряжение меньше чем U_∞ , диэлектрик способен выдерживать неограниченно долго. Пробивное напряжение при электротепловом пробое зависит как от частоты напряжения, так и от температуры окружающей среды (начальной температуры диэлектрика), уменьшаясь при возрастании обоих факторов.

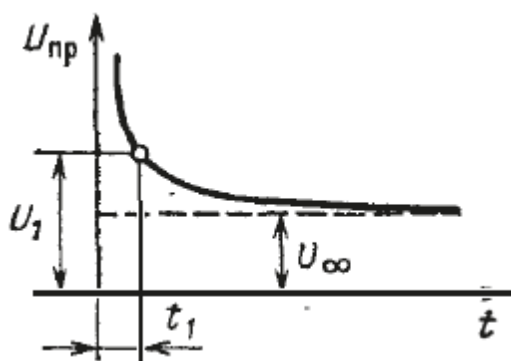


Рис. 1.2.6. Зависимость $U_{пр}$ при электротепловом пробое от времени приложения напряжения.

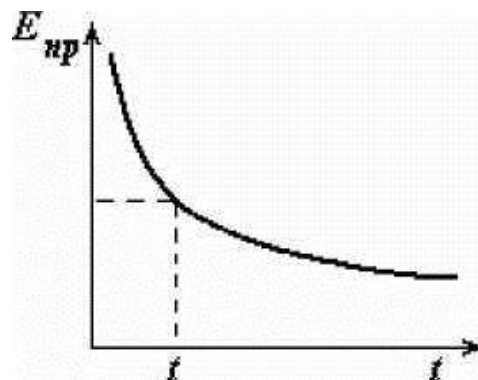


Рис. 1.2.7. Кривая жизни изоляции $E_{пр} = f(t)$

Электрохимический пробой – этот вид пробоя развивается довольно медленно, и, как правило, из-за длительного воздействия напряжения и различных электрохимических процессов, снижающих пробивное напряжение и диэлектрические свойства (снижение прочности, увеличение электропроводности и диэлектрических потерь). При этом чем больше время воздействия напряжения, тем сильнее снизится значение электрической прочности.

Зависимость, изображенная на рисунке 1.2.7, называется «кривая жизни» диэлектрика, а само явление получило название электрохимического пробоя или электрического старения.

При электрическом старении в диэлектрике, под воздействием электрического поля, возникают и развиваются различные физико-химические процессы которые приводят к разрушению диэлектрика и снижению диэлектрических свойств. Это разрушение можно рассматривать как самостоятельную форму пробоя, которая завершается, как правило тепловым пробоем.

Таким образом, электрическая прочность зависит от множества факторов, в том числе от электрофизических, механических и физико-химических параметров изоляции. Можно сказать, что $E_{пр}$ эффективно отражает состояние и способность изоляции выдерживать нагрузки, так как изменение каких-либо параметров изоляции соответственно скажется на ее электрической прочности. Исходя из этого, с помощью $E_{пр}$ ($U_{пр}$) можно давать качественную оценку состояния электрической изоляции.

1.3 Обзор методов определения электрической прочности

Принцип контроля электрической прочности изоляции заключается в создании разности электрических потенциалов между любыми электрически не соединенными контактами, а также между металлическими деталями и любым контактом, которая превышает разность электрических потенциалов при рабочем напряжении [14].

Величина электрической прочности полимерной изоляции питающих силовых кабелей может быть определена с помощью различных методов:

- на постоянном напряжении;
- переменном;
- импульсном напряжении.

Измерение $U_{пр}$ на постоянном напряжении. Для испытаний на постоянном напряжении используется схема, изображенная на рисунке 1.3.1, Для этого в цепь высокого напряжения должны быть включены

двухэлектродные лампы – кенотроны или полупроводниковые диоды, в качестве выпрямительного устройства (ВУ). Включенный параллельно конденсатор С служит для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения.

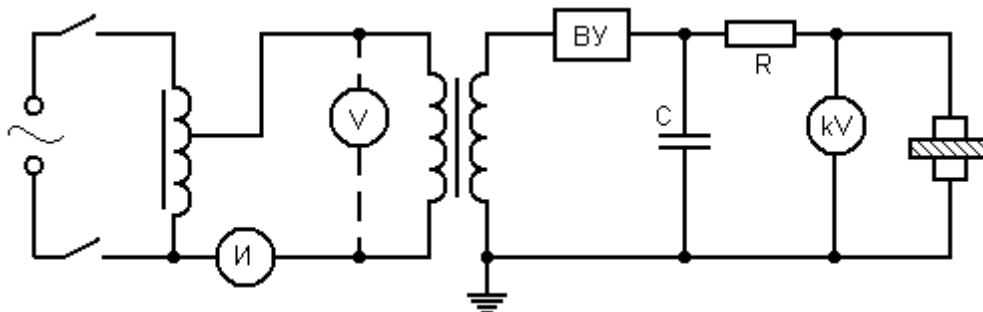


Рис. 1.3.1. Принципиальная схема установки для измерения $U_{пр}$ на постоянном напряжении

Применяемые выпрямительные схемы обеспечивают более низкий уровень пульсаций, несмотря на допустимые нормы пульсаций, не превышающих 0,05 амплитудного значения.

Напряжение при пробое может быть измерено при помощи электростатического киловольтметра или шарового разрядника.

Измерение $U_{пр}$ на переменном напряжении (50 Гц). Измерение $U_{пр}$ производят на испытательных установках (рис. 1.3.2), мощность которых должна быть достаточной для того, чтобы ток короткого замыкания на стороне высокого напряжения был не менее 40 мА.

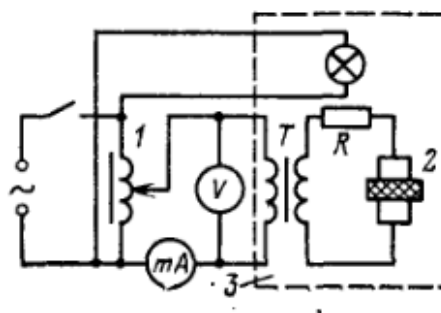


Рис. 1.3.2. Схема установки для измерения $U_{пр}$ при переменном напряжении:

1 – устройство плавного регулирования напряжения; 2 – образец с электродами; 3 – камера, в которой располагаются образец с электродами; Т – трансформатор

Должно быть организовано плавное регулирование напряжения, так чтобы скачки напряжения не превышали 0,5% номинального напряжения трансформатора. Плавное регулирование напряжения достигается путем применения устройств регулирования напряжения, к которым предъявляются следующие требования:

1) источник питания, регулирующее устройство и трансформатор должны обеспечивать на образце синусоидальную форму кривой напряжения;

2) коэффициент амплитуды (отношение максимального значения к действующему) испытательного напряжения должен быть в пределах 1,34 – 1,48. Частота должна составлять 50 ($\pm 0,5$) Гц;

3) регулировочное устройство должно обладать достаточной мощностью, простотой и эксплуатационной надежностью.

В момент пробоя, ток короткого замыкания, протекающий в образце, вызывает значительную перегрузку трансформатора. Для защиты трансформатора в цепь низкого напряжения устанавливают автоматическое устройство, которое отключает питание после пробоя. Время его срабатывания не должно превышать 0,02 с.

Образцы материалов. Для определения $E_{пр}$ образцы должны иметь размеры, которые значительно превышают размеры электродов. Это необходимо для исключения возникновения поверхностного пробоя. Образцы не должны иметь видимых дефектов – трещин, сколов, царапин, вмятин и т.п.

Определение электрической прочности в направлении перпендикулярном поверхности, производят на образцах, которые имеют форму и размеры показанные на рисунке 1.3.3. Плоские образцы (рис. 1.3.3, а) могут быть квадратные или круглые, а их размеры должны задаваться в стандарте. Если стандарт не содержит подобных указаний, то берется наибольший из размеров.

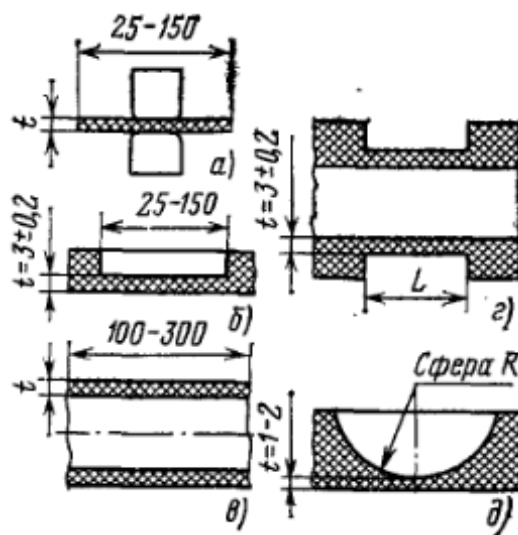


Рис. 1.3.3. Образцы твердых изоляционных материалов

a – плоский; *б* – плоский с цилиндрической выточкой; *в* – трубчатый; *г* – трубчатый с проточкой; *д* – плоский со сферической выточкой.

Электроды. Электроды для испытаний твердых диэлектриков должны удовлетворять следующим требованиям:

- обладать высокой проводимостью; и обеспечивать хороший электрический контакт;
- обеспечивать хороший электрический контакт с поверхностью;
- при испытаниях электрод не должен воздействовать на диэлектрик (деформировать, оказывать химическое воздействие);
- не должны деформироваться, плавиться, окисляться и т. п.

Для плоских образцов применяют цилиндрические электроды с разными диаметрами и закругленными краями. Диаметр нижнего электрода, должен быть минимум в три раза больше диаметра верхнего электрода, для получения поля, близкого к однородному (рис. 1.3.4, а). Высота высоковольтного электрода также должна быть не менее десятикратной толщины испытуемого материала и не менее 25 мм. Для выбора диаметра верхнего электрода можно воспользоваться рядом: 10; 25; 50 мм.

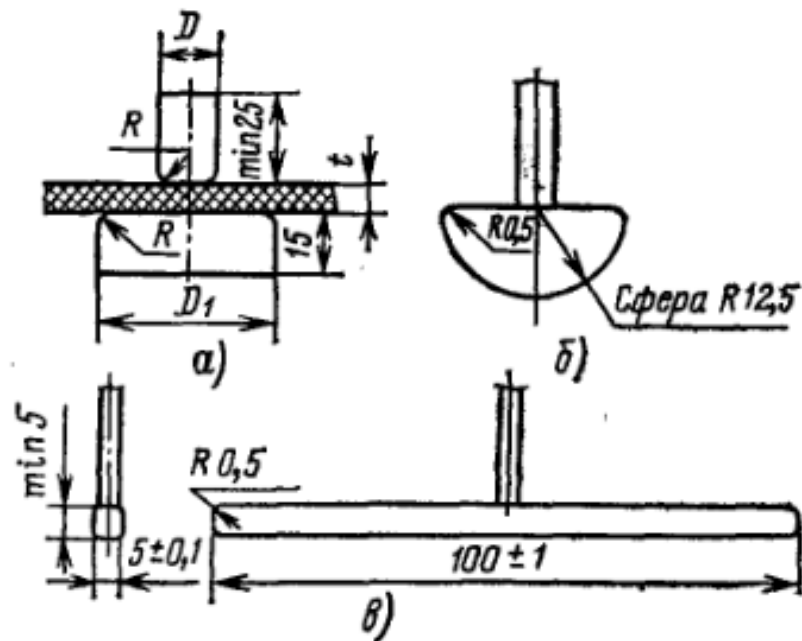


Рис. 1.3.4. Электроды:

a – цилиндрический; *б* – полусферический; *в* – полосковый;

1.4 Выводы. Постановка задач на исследование

Из анализа литературных данных видно, что на состояние и работоспособность полимерной изоляции силовых кабелей влияет множество факторов: температура, окружающая среда, напряженность электрического поля, механические нагрузки и т.д.

1. Установлено, что качество изоляции, ее состояние и способность выдерживать определенные нагрузки эффективно отражается значением ее электрической прочности.

2. Установлено, что скорость старения изоляции и механизм процессов, происходящих в ней, во многом зависят от эксплуатационных условий. Для лучших рабочих характеристик и долговечности полимерной изоляции, важно учесть все факторы, воздействующие на нее. Для питающих силовых кабелей необходимо оценить влияние механических напряжений на работоспособность изоляции, так как данный тип кабеля часто подвергается значительным механическим воздействиям в процессе эксплуатации.

3. Установлено, что многие факторы и их закономерности, влияющие на электро-физические свойства изоляции силовых кабелей, во многом, уже достаточно изучены, кроме влияния на нее механических нагрузок.

Недостаток сведений в литературе о влиянии механических напряжений на электро-физические параметры электроизоляционных материалов, не дает возможность оценить влияние деформации на электрическую прочность полимерной изоляции.

В качестве задач для выяснения отказа такой изоляции при ее деформации, а также ее взаимодействия с агрессивными средами послужили следующие:

1. Проработать литературу по теме влияния различных факторов на электрическую прочность изоляции силовых кабелей;
2. Отработать методику проведения эксперимента;
3. Подготовить образцы;
4. Провести экспериментальную оценку влияния механической деформации, пластовой жидкости на электрическую прочность изоляции макетных образцов.
5. Разработать рекомендации по определению стойкости изоляции НПК к механическим нагрузкам

2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Методика подготовки макетных образцов

Образцы представляют собой отрезки изолированных токопроводящих жил длиной 400 мм по 15 штук в партии. Толщина изоляции $d_{из} = 0,5$ мм, диаметр по изоляции $D = 1,9$ мм. Величина относительного удлинения изоляции задавалась путем деформации – навиванием образцов на металлические стержни разного диаметра: 5 мм – величина относительного удлинения при этом составляет 27%, 15 мм – 11%, 35 мм – 5%. Также для сравнения были подготовлены образцы без деформации. Каждая партия образцов была предварительно обвязана металлической проволокой и отмечена соответствующей биркой (рис. 2.1.1).

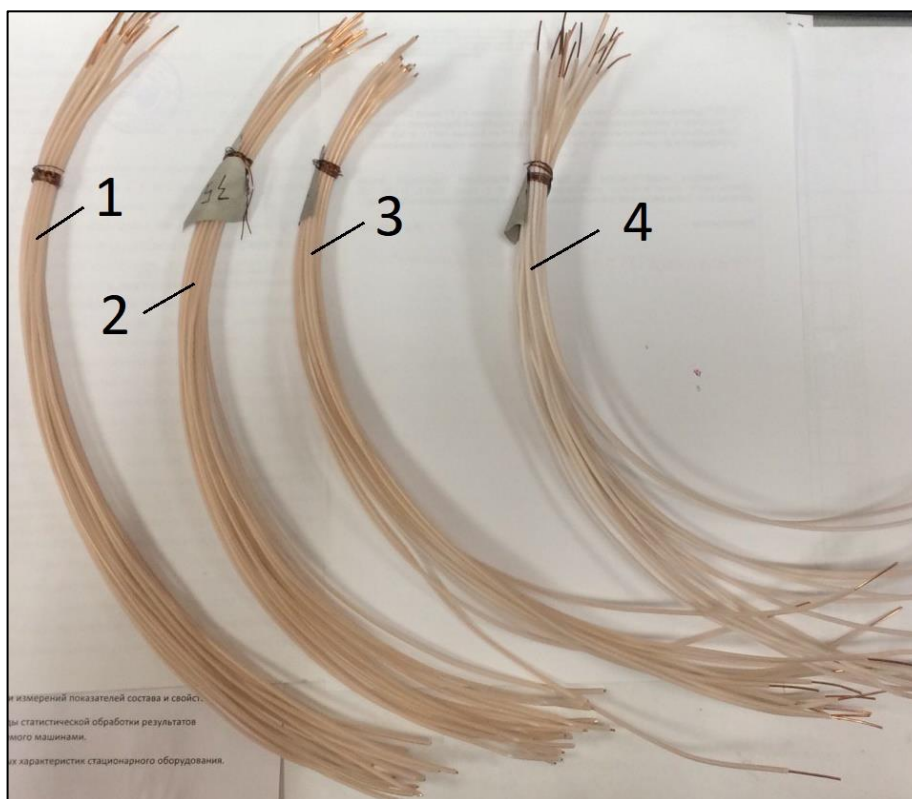


Рис. 2.1.1. Общий вид образцов:

1 – без деформации; 2 – 5%; 3 – 11%; 4 – 27%.

Навивание осуществлялось на специальном устройстве общий вид которого представлен на рисунке 2.1.2. Кроме того образцы выдерживались в пластовой жидкости, так как негативное влияние воздействующих факторов значительно усиливается при их совместном действии. Выдержка осуществлялась в металлических герметичных капсулах (рис. 2.1.3).

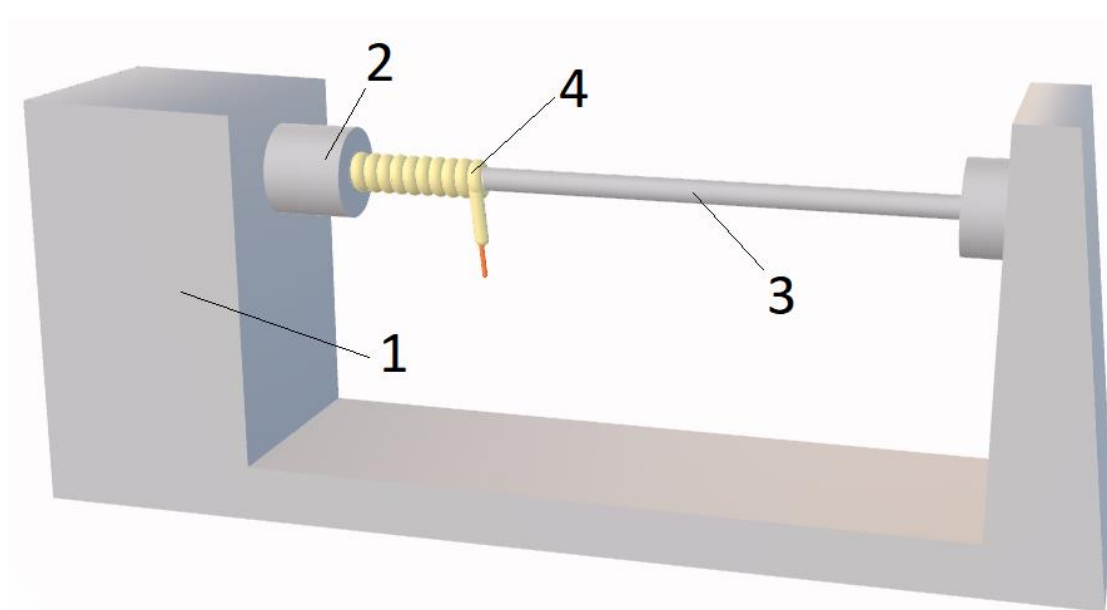


Рис. 2.1.2. Общий вид установки для деформации образцов:
1 – электропривод; 2 – держатель; 3 – стержень для навивания образцов; 4 – деформируемый образец.



Рис. 2.1.3. Капсулы для выдержки образцов в нефти

2.2 Методика определения пробивного напряжения изоляции макетных образцов

Для оценки кратковременного пробивного напряжения, образцы испытываются на пробивное напряжение при переменном токе частоты 50 Гц на высоковольтной установке, приведенной на рисунке 2.2.1 в соответствии с ГОСТ 2990-78 [19]. Перед испытаниями все партии образцов должны быть выдержаны не менее одного часа в воде.

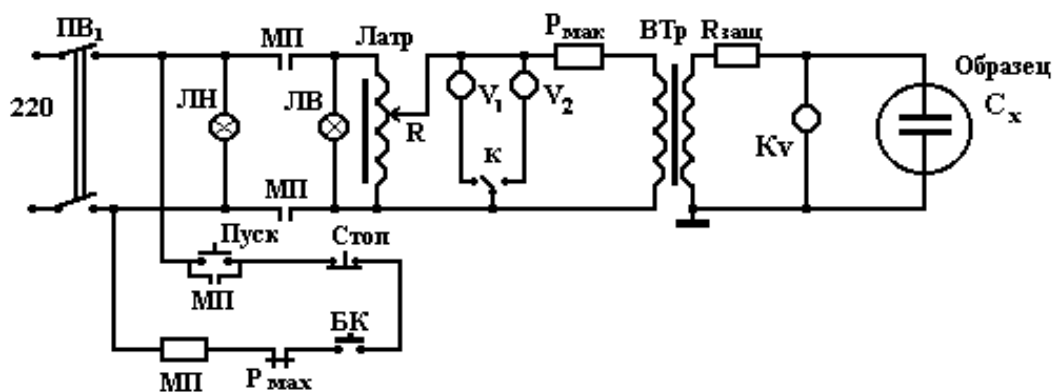


Рис. 2.2.1. Принципиальная электрическая схема для испытания на пробой:

БК – блокировочные контакты двери; ПВ1 – пакетный выключатель; ЛН, ЛВ – сигнальные лампы «низкого» и «высокого» напряжения; V1, V2 – контрольные вольтметры для измерения напряжения; АТ, ВТ – соответственно автотрансформатор и высоковольтный трансформатор; Rзащ - защитное (токоограничивающее) сопротивление; МП – соответственно контакты и обмотка магнитного пускателя; Рмакс – соответственно контакты и обмотка реле максимального тока.

Образцы проводов устанавливаются в испытательную ячейку (рис. 2.2.2). Подготовленный образец помещается в стеклянную ванну 3, наполненную водно-солевым раствором 2. Установка включается пакетным выключателем – ПВ1. На пульте управления должна загореться лампа ЛН сигнализирующая о подаче низкого напряжения. Далее, положение рукоятки устанавливается на «ноль». На оголенный конец образца подается высокое напряжение нажатием кнопки «Пуск», после чего на пульте управления должна загореться сигнальная лампа ЛВ «Высокое напряжение».

Вращая рукоятку автотрансформатора, плавно повышается напряжение до нужного номинального напряжения. Напряжение пробоя фиксируется. После пробоя образца рукоятка автотрансформатора устанавливается в исходное положение «ноль».

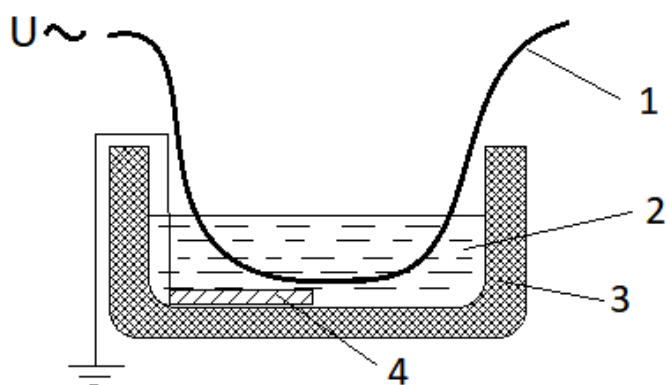
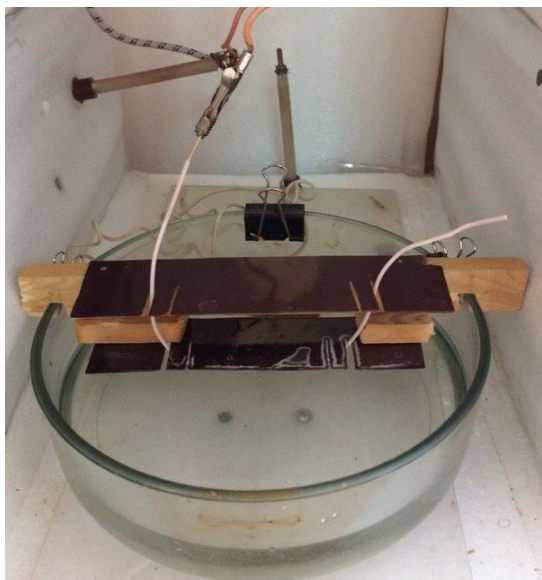


Рис. 2.2.2. Общий вид ячейки для испытаний:
1 – испытуемый образец; 2 – электролит; 3 – стеклянная ванна; 4 – электрод.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Объект испытаний

Объектом испытаний является изоляция токопроводящих жил нефтепогружных кабелей (НПК). Материал изоляции блок-сополимер этилена и пропилена (БСЭП), зачастую его называют просто сополимер полипропилена.

Блок-сополимеры получают обычно путем многостадийного синтеза, вводя в зону реакции различные мономеры (или их смеси) [13]. Их синтез делится на периодический и непрерывный. Блоксополимеры пропилена и этилена представляют собой композиции гомополимеров пропилена и этилена и их блоксополимера. Сополимер пропилена с этиленом представляет продукт совместной полимеризации указанных мономеров и имеет в основном следующее строение:

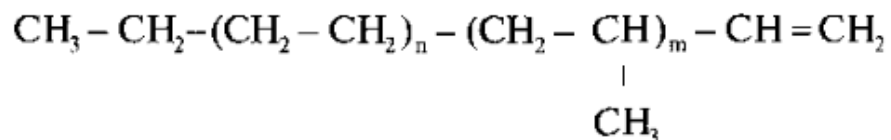


Рис. 3.1.1. Строение блоксополимера этилена с пропиленом

Условия эксплуатации. Как уже отмечалось ранее (п. 1.1) – эксплуатация НПК происходит в очень суровых условиях из-за влияния различных факторов. Эксплуатация подобных кабелей происходит в очень суровых условиях: высокие температуры, воздействие высокого гидростатического давления, агрессивная среда пластовой жидкости, механические нагрузки и т.д. В зависимости от региона добычи перепад температур и состав пластовой жидкости может существенно отличаться.

В настоящее время основной объем от всей добычи нефти в России производится механизированным способом с использованием установок электроприводных центробежных насосов (УЭЦН).

Электроцентробежная насосная установка это комплекс оборудования для механизированной добычи жидкости через скважины с помощью центробежного насоса, непосредственного соединенного с погружным электродвигателем. УЭЦН для нефтяных скважин включает: центробежный насос, асинхронный погружной электродвигатель, протектор, кабель в сборе и наземное оборудование. Длина ЭЦН 25-30 метров.

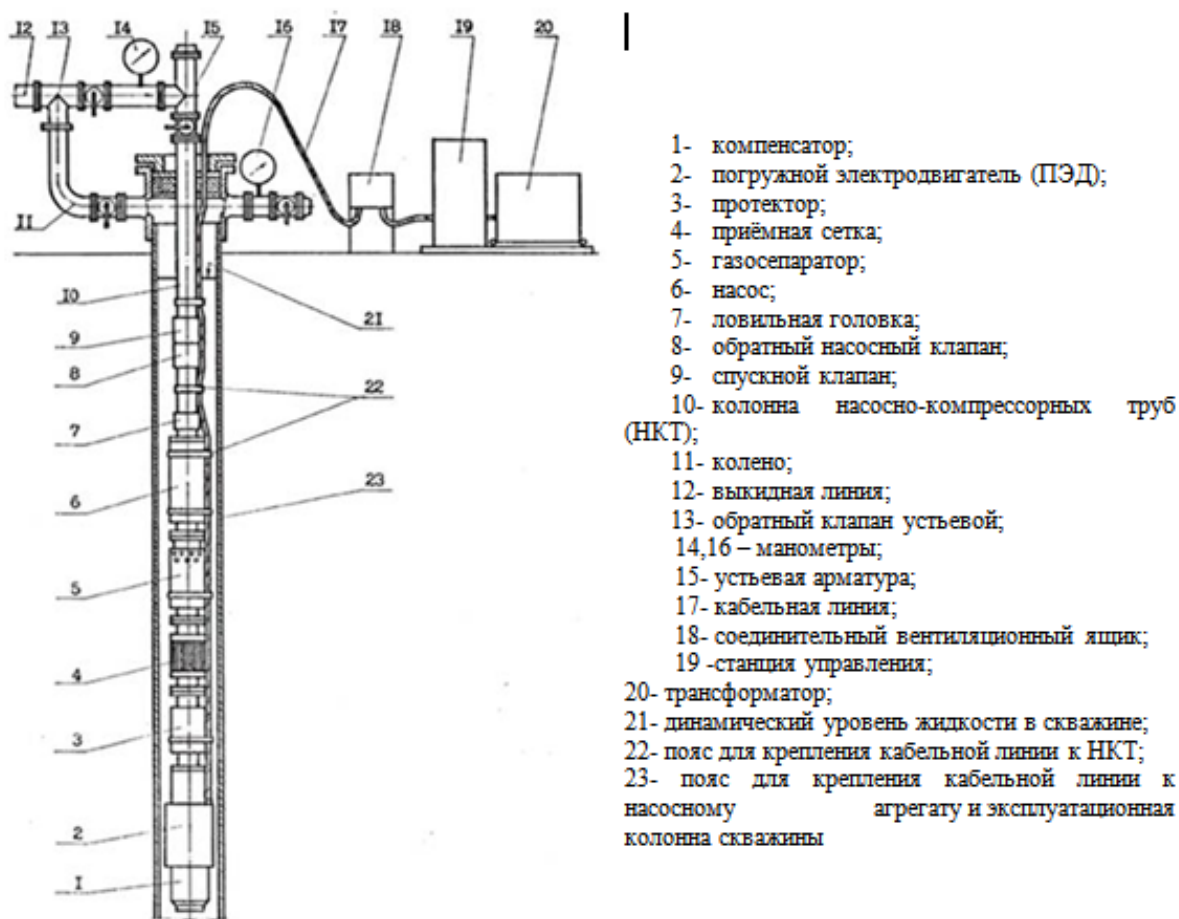


Рис. 3.1.3. Установка электроприводных центробежных насосов

Во время эксплуатации НПК не испытывают растягивающих нагрузок, но в то же время на них действуют изгибающие и крутящие нагрузки, а также силы трения при спуске и подъеме системы в скважину. Во время спуска в

скважину происходит незначительное кручение колонны НКТ, что приводит к закручиванию кабеля вокруг НКТ по ее диаметру. Данное механическое воздействие опасно для кабелей плоской формы, так как при намотке их на барабан во время подъема из скважины сохраняются подъемы перекруты из скважин. Их необходимо устранять, так как кабель повторно эксплуатируется в скважине. Механические воздействия в виде срезов возникают при контакте брони кабеля со стыками обсадных труб, особенно в кривых скважинах.

Стойкость к механическим воздействиям осуществляется способностью кабеля быть стойким к изгибам при навивании на цилиндр, равным 15 – кратному максимальному диаметру кабеля.

Так же критерием стойкости к механическим нагрузкам является способность кабеля выдерживать раздавливающую нагрузку не менее:

98кН (10тс) – для кабелей с основными жилами сечением 6 и 8 мм² ;

158 кН (16тс) – для кабелей с основными жилами остальных сечений.

Одним из главных параметров эксплуатационной среды является рабочая температура. Рабочая температура зависит от глубины пуска установки в скважину, температуры пласта, геометрического градиента. Рабочая температура кабеля зависит от района эксплуатации кабельного изделия. Во время эксплуатации кабельного изделия наблюдается огромное различие между температурой воздуха на поверхности земли и температурой скважинной среды. Для условий Западной Сибири перепад в зимнее время достигает более 160°С.

При эксплуатации кабеля для погружных электронасосов верхний конец кабеля располагается на поверхности, в связи с этим наблюдается характерное различие температур между поверхностью земли и средой скважины. В зимнее время года перепад температур достигает 130 °С. Также наблюдается повышение температуры кабеля от тепла, выделяемое электродвигателем и насосом. Во время нормального режима работы перепад температур достигает 20°С, от 40-50°С при аварийных режимах наблюдается

срыв нефти, что повлечет за собой расплавление изоляции, и в итоге к короткому замыканию между жилами.

В условиях эксплуатации кабельных линий было замечено, что нижний конец линии (удлинитель) находится в наиболее неблагоприятных температурных условиях. Также увеличение температуры кабельной линии происходит за счет тепла, выделяемых электродвигателем и насосом.

При действии этих факторов наблюдается набухание изоляции и изменяются электромеханические характеристики. Под влиянием данных факторов происходит резкое сокращение ресурса кабеля.

Рабочей средой, в которой эксплуатируется кабельная линия, является нефть, газ и вода.

3.2 Результаты определения влияния механических нагрузок и эксплуатационных факторов (температура, пластовая жидкость) на пробивное напряжение изоляции макетных образцов

В соответствии с методикой, описанной в п. 2.1 были подготовлены образцы (рис. 2.1.1), а также выдержаны в нефти. Далее определено $U_{пр}$ в соответствии с п. 2.2: было испытано 2 партии образцов – до и после выдержки в пластовой жидкости. Все образцы прошли испытания на пробой. Результаты определения $U_{пр}$ представлены на рисунке 3.2.1. и в приложении А в таблицах 2-3. Также дополнительно были испытаны на пробой образцы, которые деформированы при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 3).

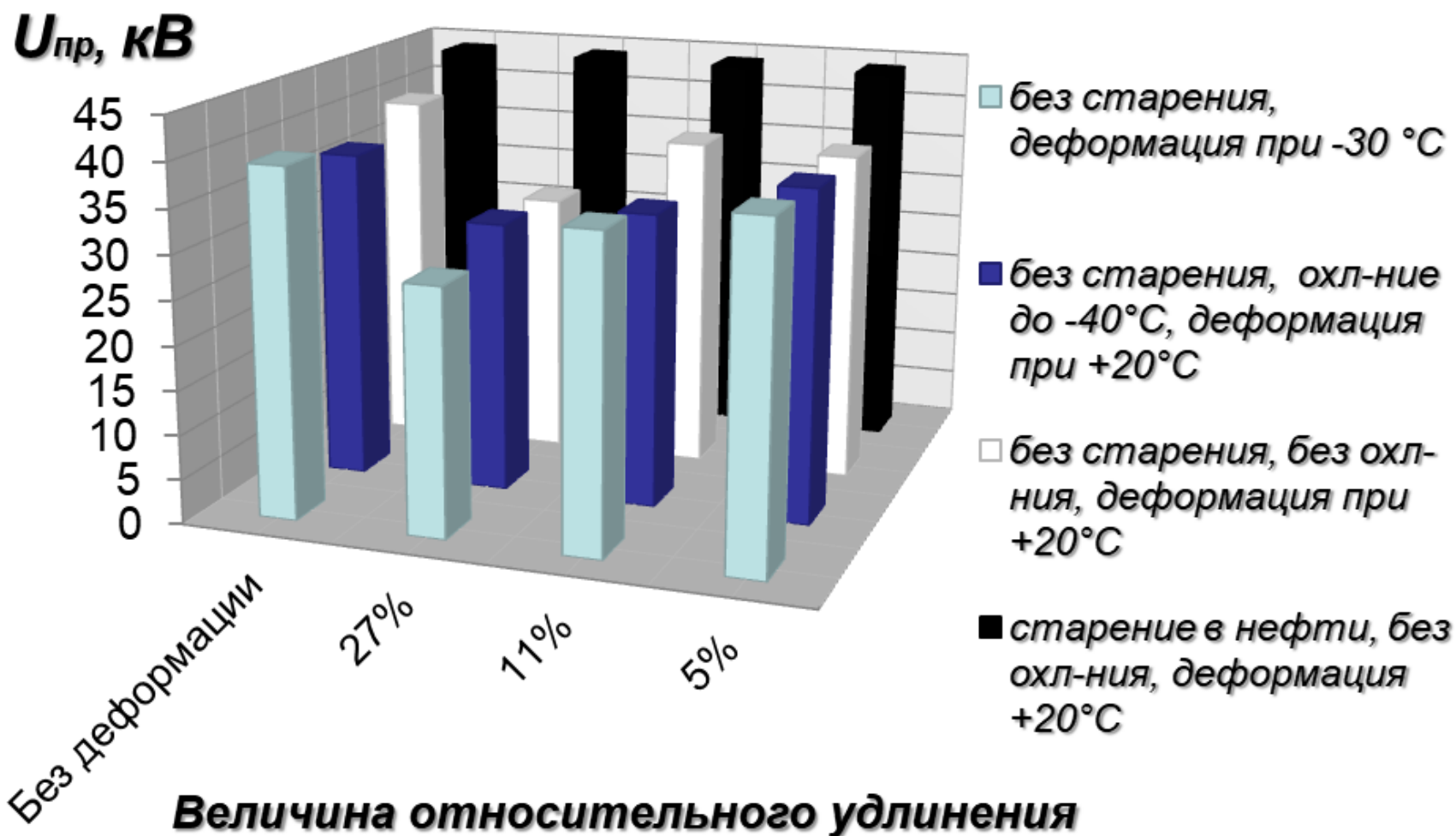


Рис. 3.2.1. Зависимость $U_{пр}$ от величины относительной деформации, при различных параметрах

3.3 Обсуждение полученных результатов и выводы по работе

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1) При увеличении относительного удлинения уменьшается величина $U_{пр}$. При растяжении в изоляции возникают внутренние механических напряжений, а также увеличиваются число и размеры трещин. Энергия тепловых флуктуации тратится на рассоединение атомов в нагруженных твердых телах, что и составляет сущность процесса разрушения. Разрыв межатомных связей, согласно кинетической концепции прочности, осуществляется фактически тепловыми флуктуациями, а не действием напряжений [10]. Однако роль механического напряжения чрезвычайно велика. Флуктуации и в отсутствие внешней нагрузки вызывают в различных местах тела разрывы межатомных связей. Но эти разрывы вскоре же ликвидируются за счет рекомбинации разорванных связей. Приложенное к телу растягивающее напряжение не только уменьшает энергию распада связи и этим увеличивает вероятность прихода флуктуации, достаточной для разрыва связи, но также и резко ослабляет возможность рекомбинации, удаляя друг от друга разъединенные атомы. Это, в свою очередь, облегчает условия образования трещин в изоляции и развития процессов ее пробоя.

2) Деформация охлажденных образцов (при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к более заметному снижению пробивного напряжения. При отрицательных температурах эластичность полимера уменьшается, следственно увеличивается хрупкость. Это обуславливает большее число микротрещин и дефектов на поверхности изоляции. В связи с этим образцы деформированные при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеют меньшее значение $U_{пр}$;

3) Кратковременное охлаждение образцов до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, нагрев до комнатной температуры и последующая деформация, как показали исследования, не оказывают заметного влияния на $U_{пр}$. Полимерная изоляция

при комнатной температуре переходит в эластичное состояние без видимого снижения механической прочности.

4) После выдержки в пластовой жидкости отмечено увеличение пробивного напряжения. Это можно объяснить следующим образом: после деформации в изоляции появляются микротрещины, которые, при испытаниях напряжением, заполняются водой. В результате уменьшается толщина изоляционного промежутка и увеличивается локальная напряженность электрического поля (рис. 3.3.1, а). В процессе выдержки в пластовой жидкости нефть проникает в микротрещины изоляции и заполняет их (рис. 3.3.1, б). Таким образом, при испытаниях, нефть препятствует проникновению воды в микротрещины.

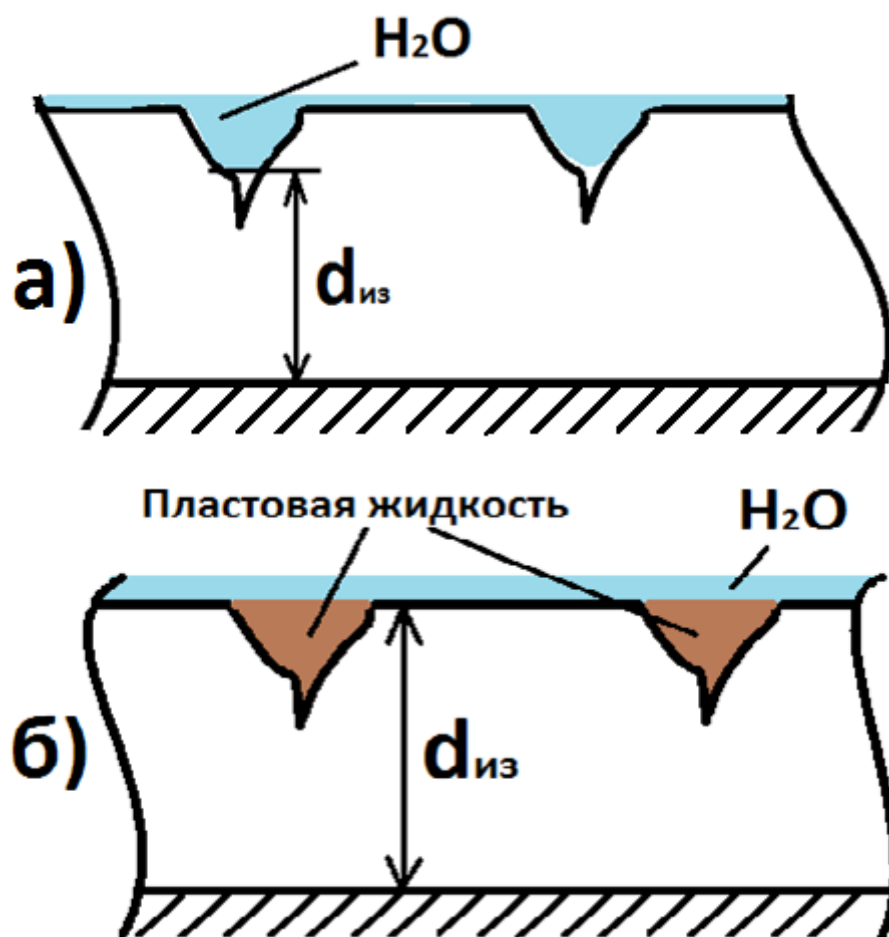


Рис. 3.3.1. Схематичный вид образца при наличии дефектов на поверхности за счет механической деформации: а) до старения в нефти, б) после выдержки в нефти

В результате увеличивается изоляционный промежуток и снижается локальная напряженность электрического поля. Кроме того за счет процессов сорбции пластовой жидкости в объем блоксополимера происходит набухание изоляции (общая толщина увеличивается примерно на 7%). Это также повышает величину пробивного напряжения.

Таким образом, рассмотренные эксплуатационные факторы неблагоприятно сказываются на электрической прочности изоляции нефтепогружных кабелей, а их совместное воздействие усиливает негативное влияние. Хотелось бы отметить, что тенденция увеличения пробивного напряжения после выдержки в пластовой жидкости не будет сохраняться, т.е. при увеличении длительности выдержки кабеля в нефти будет происходить разрушение и деструкция изоляции, что несомненно уменьшит пробивное напряжение, так как в реальных условиях кабель находится в пластовой жидкости намного большее время, чем в рамках наших испытаний (5 суток). Для того чтобы сделать более точные выводы, в дальнейшем возможно выполнение испытаний при более длительном старении изоляции в пластовой жидкости.

Результаты полученные в данной работе, позволяют отметить: кратковременная электрическая прочность не эффективная характеристика при оценке степени воздействия механической нагрузки и пластовой жидкости на состояние изоляции. На наш взгляд наиболее показательным будет исследование длительной электрической прочности. В этом плане проведенная работа будет основой для дальнейших исследований.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

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

4.1 Обоснование и SWOT-анализ научного исследования

Научное исследование посвящено изучению влияния деформации на кратковременную электрическую прочность силовых нефтепогружных кабелей с полимерной изоляцией. Научная работа имеет безусловный коммерческий потенциал, поскольку изначально инициировалось ЗАО “Сибкабель”, являющимся базой реализации НИР, и также имеет ряд потенциальных потребителей.

Проблема уменьшения электрической прочности изоляции кабелей и проводов при влиянии различных условий эксплуатации является вполне актуальной, так как зачастую при монтаже кабелей изоляция подвергается деформации, а также влиянию различных сред, поэтому продукцию необходимо испытывать, и давать оценочные характеристики их поведению при различных условиях. Проект по разработке рекомендаций по испытанию силовых нефтепогружных кабелей осуществляется для нужд заводов

изготавливающих кабельную продукцию, а также нефтяной промышленности.

Таким образом, потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия изоляционно-кабельной промышленности, нефтяной промышленности, а также предприятия, базирующиеся на производстве электротехнических устройств, расположенные на территории Российской Федерации.

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

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Собственная научная и производственная база для исследований.</p> <p>С2. Соответствие материала необходимым техническим характеристикам.</p> <p>С3. Доработка недостающей информации о характеристиках исследуемого материала.</p> <p>С4. Не требует сложного уникального оборудования.</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя.</p> <p>С6. Актуальность проблемы.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Затраты времени на проведение испытаний;</p> <p>Сл2. Высокие требования к характеристикам исследуемого материала;</p> <p>Сл3. Высокая продолжительность проведения испытаний;</p> <p>Сл4. Необходимость сравнительного анализа характеристик.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Увеличение срока службы исследуемого объекта.</p>		

<p>В2. Использование объекта испытаний в агрессивных условиях эксплуатации.</p> <p>В3. Разработка рекомендаций по эксплуатации нефтепогружных кабелей в исследуемых условиях.</p> <p>В4. Рост потребности в обеспечении безопасности нефтедобывающего процесса.</p> <p>В5. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на разработанные рекомендации;</p> <p>У2. Введение дополнительных требований к материалу;</p> <p>У3. Угрозы выхода из строя оборудования в ходе использования разработанных рекомендаций.</p>		

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

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

Таблица 5. Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	-	+	+	-	-	-
	B2	+	+	-	0	0	-
	B3	+	+	+	-	+	+
	B4	0	+	+	-	-	+
	B5	+	+	0	+	+	+
	Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4		
	B1	-	+	-	-		
	B2	-	+	-	+		
	B3	+	-	+	+		
B4	+	-	+	-			
B5	-	-	+	-			

Таблица 6. Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	-	+	+	-	0	-
	У2	+	+	+	-	0	0
	У3	-	+	+	-	0	0
	Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4		
	У1	-	+	+	-		
	У2	+	+	+	-		
	У3	-	+	+	-		

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 5 и 6, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно больше числа слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз проведения исследований. Если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Это касается и угроз.

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

Планирование комплекса работ по научному исследованию состоит из нескольких этапов:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

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

Структура работ в рамках научного исследования. Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Также определяется перечень этапов в рамках исследования. Соотношение этапов и исполнителей приведены в таблице 7.

Таблица 7. Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Проведение испытаний исследуемого объекта	3	Заготовка образцов исследуемого материала	Студент-дипломник
	4	Определение условий испытания	Студент-дипломник, научный руководитель
	5	Испытания образцов в соответствующих условиях	Студент-дипломник, научный руководитель
Обсуждение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования	Студент-дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по научному исследованию	7	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
	8	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник, Научный руководитель
	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

Определение трудоемкости выполнения научного исследования

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

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Рассчитанные значения трудоемкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t_{\min}		t_{\max}		$t_{\text{ож}}$			
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-
2	Обзор научной и технической литературы	-	7	-	14	-	9,8	-	13
3	Заготовка образцов исследуемого материала	1	1	1	3	1	1,8	1	3
4	Подготовка необходимого оборудования	1	1	4	4	2,2	2,2	2	3
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	15	15	30	30	21	21	16	22
6	Оценка результатов исследования	1	2	2	5	1,4	3,2	1	3
7	Составление пояснительной записки	-	10	-	20	-	14	-	18
8	Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	3	-	1,8	-	2	-
9	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
10	Защита ВКР	-	1	-	2	-	1	-	1

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

Разработка графика проведения научного исследования

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

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 8 строим план-график проведения работ (таблица 9).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает порядка 2 месяцев. Продолжительность выполнения технического проекта составит 69 дней. Из них для каждого в отдельности:

- 66 дней – продолжительность выполнения работ студента-дипломника;
- 26 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя.

4.3 Составление сметы затрат на разработку научного исследования

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

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

Расчет материальных затрат

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.3)$$

где m - количество видов материальных ресурсов;

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

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

k_T - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_M), руб.
Образец изолированной токопроводящей жилы	1	9925	9925
Пластовая жидкость	1	311	311
Кусачки	1	200	230
Бокорезы	1	500	575
Перчатки	1	30	35
Маркер	1	60	69
Линейка	1	20	23
Бумага	1	250	288
Ручка	2	15	35
<i>Итого</i>			<i>11490</i>

Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.5)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_d}, \quad (4.6)$$

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

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

$Z_{р.к.}$ - районная доплата, руб.;

F_d - количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11. Расчёт основной заработной платы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн.}, \quad (4.7)$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12. Расчет полной заработной платы

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

Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{полн}}, \quad (4.8)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 88327 = 26675 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = \sum Z \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.9)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

Формирование сметы затрат научного исследования

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 13.

Таблица 13. Смета затрат технического проекта

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

Исходя из сметы затрат, на технический проект требуется 150,6 тыс.рублей. Согласно диаграмме Ганта продолжительность всей работы составила 69 рабочих дня.

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.10)$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент разработки;

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

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

1. Стойкость - одно из свойств полимера, характеризующее возможность изменения его характеристик при воздействии внешних факторов.
2. Безотказность - это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.
3. Негорючесть - это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.
4. Эластичность - это свойство полимерного тела восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил.
5. Дешевизна - низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.

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

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 14.

Таблица 14. Сравнительная оценка характеристик проекта

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,22 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,32$$

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

4.5 Выводы по главе

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

– в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора научного исследования. Установлено, что технический проект будет эффективным, так как влияние возможностей на сильные стороны научного исследования больше, чем на слабые;

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- составление сметы научного исследования позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта в размере 150,6 тыс. рублей;
- оценка ресурсоэффективности исследования, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,32 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Аннотация

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IS CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации» [29].

В соответствии с МС - Социальная ответственность – ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

Введение

Объект исследования – изоляция токопроводящей жилы нефтепогружного кабеля с изоляцией из блоксополимера этилена с пропиленом (БСЭП).

Согласно техническому заданию (ТЗ) планируется подготовить макетные образцы путем деформации, а также выдержкой в пластовой жидкости и испытать на пробой подготовленные образцы. Под испытанием на пробой подразумевается испытания по определению кратковременной электрической прочности, путем подачи на образцы плавно увеличивающегося напряжения. Для выполнений требований ТЗ необходимо

подготовить рабочее место посредством создания условий для работы с высоким напряжением и подготовки испытательного стенда (ИС).

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на человека, работающего с установкой высокого напряжения и ИС, рассмотрены воздействия разрабатываемых решений на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы [30]:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на исследователей в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 15.

Таблица 15. Перечень опасных и вредных факторов при исследовании

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<ul style="list-style-type: none"> • Управление механизмами испытательного стенда; • Выполнение визуальных осмотров всех основных и вспомогательных механизмов до начала их использования при выполнении работ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Электромагнитные излучения; • Напряженность электрического поля токов промышленной частоты; • Ионизация воздуха; • Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> • Электрический ток. 	<ul style="list-style-type: none"> • ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах; • Химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03;

Продолжение таблицы 15. Перечень опасных и вредных факторов при исследовании

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<ul style="list-style-type: none"> • Калибровка высоковольтного оборудования; • Наблюдение за испытаниями в зоне воздействия электромагнитных полей; 	<ul style="list-style-type: none"> • Напряженность труда в течение смены; • Шум; 		<ul style="list-style-type: none"> • НРБ 99. Нормы радиационной безопасности; • ОСПОРБ-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности; • Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ; • Допустимые уровни шумов в производственных помещениях. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ; • Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96;

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль над соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

5.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, рабочее помещение по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности (согласно ПУЭ).

При подготовке лаборатории необходимо выполнить требования к размещению высоковольтного оборудования и организации рабочих мест, в соответствии с инструкцией по охране труда при проведении электрических измерений и испытаний (ТИ Р М-074-2002).

При управлении и наблюдении за испытаниями основным опасным фактором на рабочем месте является высокое напряжение в сети, от которой запитан испытательный стенд. Необходимо обеспечить должную защиту, а также выполнять соответствующие требования безопасности во время выполнения работ. Обеспечить рабочее место ограждениями и соответствующей изоляцией, а исполнителей работ – индивидуальными средствами защиты.

Кроме опасных факторов, при выполнении испытаний имеют место вредные факторы, такие как: повышенные электромагнитное и ионизирующее излучения, повышенная напряженность электрического поля. В ходе выполнения работ, для уменьшения воздействия данных факторов, необходимо установить время пребывания персонала в зависимости от уровня напряженности электрических полей, в соответствии ТИ Р М-074-2002.

5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Электромагнитные излучения. Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека, по сравнению с другими вредными производственными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы).

Источники электромагнитных излучений промышленной частоты — это в первую очередь системы передачи и распределения электроэнергии (электростанции, трансформаторные подстанции, линии электропередачи, электросети административных зданий и др.), а также электрооборудование

(электродвигатели, контроллеры, щиты и др.) и электропроводка производственного оборудования.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых высоковольтной установкой на рабочих местах дифференцированы в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле, в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 [32]. Оценку ЭМП производят отдельно по напряженности электрического поля (кВ/м) и магнитного (А/м).

Электрическое поле. Допустимое время нахождения в ЭП:

1. В течение всей смены предельный допустимый уровень напряженности электрического поля на рабочем месте равняется 5 кВ/м;
2. Если напряженность ЭП находится в интервале от 5 до 20 кВ/м, то время пребывания находится по формуле:

$$T = (50/E) - 2, \text{ где}$$

E – напряженность поля, кВ/м;

3. При напряженности от 20 – 25 кВ/м допустимое время пребывания составляет не более 10 минут;
4. При E больше 25 кВ/м – пребывание без средств защиты не допускается.

Магнитное поле. ПДУ воздействия магнитного поля показано в таблице 16.

Таблица 16. ПДУ воздействия магнитного поля

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м]	
	Общем	локальном
<= 1	1600	6400
2	800	3200
4	400	1600
8	80	800

Для оценки соблюдения уровней необходим производственный контроль (измерения). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

Электрический ток. Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- вида и величины напряжения и тока;
- его частоты;
- пути прохождения электрического тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- внешних условий среды.

Лабораторию, по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ.

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- защитного заземления;
- защитного зануления;
- защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проходить на следующих этапах:

- проектирование;

- реализация;
- эксплуатация.

К работе на электроустановке должны допускаться лица, прошедшие инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкций применительно к выполняемой работе. Для электробезопасности установка должна быть оснащена устройствами защиты от токов короткого замыкания и перегрузок.

Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;

– изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или разных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустановок: защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условиям режимов работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения и т.д. в течение всего периода эксплуатации.

В первую очередь должны быть соблюдены требования, предъявляемые к защитному заземлению. Требуемые значения напряжений прикосновения и сопротивления заземляющих устройств при стекании с них токов замыкания на землю и токов утечки должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях в любое время года. Заземляющие устройства должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими к токам замыкания на землю.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ для защиты от поражения электрическим током должно быть выполнено защитное заземление открытых проводящих частей. В таких электроустановках должна быть предусмотрена возможность быстрого обнаружения замыканий на землю. Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действием на отключение по всей электрически связанной сети в тех случаях, в которых это необходимо по условиям безопасности (для линий, питающих передвижные подстанции и механизмы, торфяные разработки и т.п.).

Перед началом эксплуатации электроустановки:

- необходимо проверить исправность защитного заземления и средства автоматического отключения питания;
- запрещается использовать электроаппараты и приборы в условиях, не соответствующих рекомендациям (инструкциям) или с неисправностями, которые могут привести к пожару;
- запрещается пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

В помещении, которое по окончании работ закрывается и не контролируется дежурным персоналом, все электроустановки и электроприборы должны быть обесточены (за исключением дежурного освещения, автоматических установок пожаротушения, пожарной и охранной сигнализации, а также электроустановок, работающих круглосуточно).

Психофизиологические факторы. Для предупреждения утомления и нервно-эмоционального напряжения при выполнении работ необходимо организовать правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо оптимизировать режимы труда и отдыха в течение работ;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы приветствуется использование специальной мебели, которая имеет возможность регулировать свои параметры и характеристики под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

Химические факторы. Вредным химическим фактором при выполнении работ для исследования является повышенная концентрация токсичного газа – *озона* в воздухе рабочей зоны. Источниками образования озона в воздухе являются старение изоляции, а также, в данном случае, при электрическом разряде в воздухе.

Озон относится к 1-му наиболее высокому классу опасности вредных веществ. При вдыхании озон способствует раздражению дыхательных путей. Кроме этого негативно сказывается на слизистой оболочке глаз, может наступать сонливость, утомление. При критически больших дозах может наступить паралич дыхания, а в результате летальный исход.

В соответствии с ГН 2.2.5.1313-03 предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочей зоны $0,1 \text{ мг/м}^3$, а разовая максимальная доза — $0,16 \text{ мг/м}^3$ [31].

Для исключения превышения концентрации озона в воздухе рабочей зоны необходимо обеспечить достаточную вентиляцию помещения, а также ограничить время пребывания в зоне контакта с газом. Иным способом является установка вытяжки, которая обеспечивает постоянное устранение вредных веществ.

Микроклимат. Микроклимат производственных помещений определяется совокупным воздействием на организм человека температуры, влажности, скорости движения воздуха, теплового излучения нагретых поверхностей. Микроклимат различных производственных помещений зависит от колебаний внешних метеорологических условий, времени дня, года, особенностей производственного процесса и систем отопления и вентиляции.

В производственных помещениях, в которых работа с лабораторными стендами является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Для обеспечения достаточного постоянного и равномерного нагревания воздуха в рабочих аудиториях в холодный период года используется отопление. Температуру в помещении следует регулировать с учетом

тепловых потоков от оборудования. Стенд нужно устанавливать так, чтобы тепловые потоки от него не были направлены на студентов.

Таблица 17. Параметры микроклимата для производственных помещений

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный и переходный	Температура воздуха в помещении	22 – 24 °С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23 – 25°С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	0,1 – 0,2 м/с

С целью поддержания параметров микроклимата в допустимых пределах, а также комфортные условия работы магистрантов применяется кондиционирование воздуха. Кондиционирование воздуха обеспечивает поддержание параметров микроклимата в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ.

Шум. Другим вредным факторов, оказывающим пагубное воздействие на здоровье человека, является шум. Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562–96 предельно допустимые уровни (ПДУ) звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для измерительных и аналитических работ в лаборатории представлены в таблице 18.

Влияние шума на слуховой анализатор проявляется в ауральных эффектах, которые, главным образом, заключаются в медленно прогрессирующем понижении слуха по типу неврита слухового нерва (кохлеарный неврит). Подвергающиеся шумовому воздействию люди, чаще всего жалуются на головные боли, которые могут иметь разную интенсивность и локализацию, головокружение при перемене положения тела, снижение памяти, повышенную утомляемость, сонливость, нарушения сна, эмоциональную неустойчивость, снижение аппетита, потливость, боли в области сердца.

Таблица 18. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

Шум – это один из самых сильных стрессорных агентов. Влияние шума сказывается на функциях эндокринной и иммунной систем организма, в частности это может проявляться в виде трех главных биологических эффектов: снижение иммунитета к инфекционным болезням; снижение иммунитета, направленного против развития опухолевых процессов; появление благоприятных условий для возникновения и развития аллергических и аутоиммунных процессов.

Источником шума при работе на установке является трансформатор, входящий в состав электронно-измерительного блока. Для уменьшения шумового воздействия на человека используются индивидуальные и коллективные средства защиты. В качестве коллективной защиты выступает звукоизоляционный материал, которым покрыта ячейка с помещенным туда блоком. А противозумные наушники и вкладыши могут использоваться, как средства индивидуальной защиты.

5.4 Экологическая безопасность

Анализ влияния исследования на окружающую среду. В результате выполнения ВКР была исследована зависимость, которая, возможно, позволит разработать рекомендации по улучшению электро-физических и механических характеристики изоляции для питающих нефтепогружных кабелей, непосредственно на этапе ее производства и эксплуатации.

Последствия росту рабочих характеристик будет оптимизация производства и увеличение его объема. А это, в свою очередь, понесет за собой развитие нефтяной индустрии, а также развития и без того огромных масштабов производства полимеров. Ведь не секрет, что развитие промышленности негативно сказывается на экологии, являясь источником различных видов загрязнений воды, воздуха, земной коры, а также основным потребителем топливных ресурсов, определяющим уровень его добычи.

Обоснование мероприятий по защите окружающей среды. Возможное улучшение рабочих характеристик, а так же стойкости к различным разрушающим воздействиям на полимерную изоляцию является палкой о двух концах.

С одной стороны увеличение стойкости изоляции к различным воздействиям приведет к увеличению срока службы, что в свою очередь положительно скажется на количестве отходов – больший срок службы позволяет уменьшить потребность (для нефтяной промышленности) и соответственно сократить количество отходов в год.

Но с другой улучшение стойкости полимеров приведет к увеличению продолжительности их разложения. То есть со временем все больше и больше отходов будут храниться в земле. А это может занимать не год и не два, а до десятков лет.

Решением этой проблемы является во-первых, разработка и использование технологий, позволяющие максимально экологично

перерабатывать полимеры, у которых закончился срок службы. Во-вторых, проблема должна решаться и за счет эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Организации, в которой предполагается использовать разработанную рекомендацию, влияют на окружающую среду как потребитель электроэнергии, поскольку здесь работает большое количество электрооборудования и осветительных приборов.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. В принципе, перечень возможных ЧС, которые может вызвать объект исследования может быть достаточно широк. Если ограничиться местоположением и условиями эксплуатации объекта, его можно представить следующим (ориентировочным) вариантом:

- пожар на объекте;
- взрыв.
- атмосферные перенапряжения;

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС – пожар, определение категории помещения по пожаровзрывобезопасности, регламентирование мер противопожарной безопасности, в котором происходит исследование, а также место эксплуатации объекта исследования, то есть лаборатории и нефтедобывающих объектах.

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83. По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности лаборатория, в которой производились испытания относится к категории Д – наличие твердых сгораемых веществ [23].

Основным поражающим фактором пожара в лаборатории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

Руководящий документ для нефтяной промышленности – правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности ППБО-85. Пожары и прочие ЧС на нефтедобывающих объектах чрезвычайно опасны и несут иногда непоправимый, или сложно поправимый вред окружающей среде, флоре, фауне и непосредственно людям, ведь на объектах нефтяной промышленности работает огромное количество человек.

Анализ вероятных ЧС, которые могут возникать в лаборатории при проведении исследований. Пожар в лаборатории может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании;
- старение изоляции;
- увлажнение изоляции;
- механические перегрузки.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

Пожарная опасность переходных сопротивлений – возможность воспламенения изоляции или других близлежащих горючих материалов от тепла, возникающего в месте аварийного сопротивления (в переходных клеммах, переключателях и др.).

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Для снижения рисков возникновения пожаров и аварийных ситуаций на объектах нефтяной промышленности необходимо придерживаться правил проектирования зданий, сооружений, оборудования. Также обучить рабочий персонал и ответственных лиц правилам пожарной безопасности, осуществлять своевременный контроль по исполнению обязанностей.

Также должны присутствовать системы сигнализации, зачастую не связанные с другими системами, газоанализаторы, сеть пожарных водопроводов, насосы и станции. При любых изменениях в работе такого оборудования уполномоченные лица обязаны уведомить органы Государственного пожарного надзора.

На этих предприятиях необходимо вести документацию по пожарной безопасности. Зачастую возле таких объектов располагается отделение пожарной охраны, чтобы в минимальные сроки ликвидировать возгорание. Возможна организация добровольной пожарной дружины на конкретном предприятии.

В лаборатории, пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров могут использоваться следующие огнетушители: углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Помещение, в котором производилось исследование (лаборатория), оборудовано пожарной сигнализацией, которая позволяет оповестить дежурный персонал о пожаре, а также дает сигнал об эвакуации. В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1 [22].

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

План эвакуации представляет собой заранее разработанный план (схему), в которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143-2002.

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16) в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара.

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где проводились испытания, представлен на рисунке 5.5.1 в приложении Б.

5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства.
Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда.

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;

- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с работодателем.

Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений.

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;
- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;
- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;
- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;

- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;

- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;

- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;

- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;

- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;

- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;

- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;

- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;

- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности;

Работодатель обязуется проводить аттестацию и сертификацию рабочих мест один раз в пять лет с участием представителя профкома.

Если по результатам аттестации рабочее место не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и признано условно аттестованным, разрабатывать совместно с профкомом план мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда на данном рабочем месте и обеспечивать их выполнение.

Ежегодно издавать приказ о мероприятиях по охране труда и промышленной безопасности, считать эти мероприятия соглашением по охране труда на год.

Обеспечивать за счет средств работодателя:

- Проведение инструктажей по охране труда, обучение лиц, поступающих на работу с вредными и (или) опасными условиями труда, безопасным методам и приемам выполнения работ со стажировкой на рабочем месте и сдачей экзаменов, проведение периодического обучения по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в период работы.

- Проведение обязательных периодических медицинских осмотров (обследований) работников, в том числе женщин в женской консультации, в рабочее время по графику медицинских осмотров, с сохранением за ними места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанных медицинских осмотров.

- Наличие на производственных участках аптечек для оказания первой помощи пострадавшим и обработки микротравм; наличие в аптечках рекомендованного МЛПУ «Городская клиническая больница №1» перечня средств и медикаментов, их ежегодную замену.

- Выдачу молока работникам Общества в дни фактического выполнения работ, в том числе при выполнении работ временными

ремонтными бригадами на местах с наличием вредных факторов в соответствии с медицинскими показаниями в количестве:

- при длительности смены до 8 часов – 0,5 л (1 талон);
- при длительности смены 11,5 часов – 0,75 л (3 талона на две смены).

- На горячих участках и участках с вредными условиями труда обеспечивать работников сухим чаем из расчета 8 грамм на одного человека в смену. Списки работников, которым необходимо выдавать чай, утверждаются совместным постановлением работодателя и профкома.

- На работах, связанных с загрязнением, выдавать бесплатно банное мыло по норме 400 грамм на одного человека в месяц.

- Выдачу работникам защитных паст в дни работы на основании перечня, утвержденного совместным постановлением работодателя и профкома.

- Бесплатную выдачу витаминных препаратов работникам, подвергающимся воздействию высокой температуры окружающей среды и интенсивному теплооблучению при выполнении работ с особо вредными условиями труда в соответствии со списками, утвержденными совместным постановлением работодателя и профкома.

- Дополнительное страхование работников от несчастных случаев на производстве.

Порядок обеспечения работников спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты, стирки и дезинфекции устанавливается локальными нормативными актами работодателя, принимаемыми по согласованию с профкомом.

Перечень изменений и дополнений к нормативам, утвержденным законодательством РФ выдачи спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты определяется приложением к коллективному договору.

5.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Эргономические требования к рабочему месту исследователя.

Рабочее место – это часть рабочего пространства, которая оснащена необходимыми средствами труда. Так рабочее место исследователя включает в себя экспериментальное оборудование, рабочие столы, оснащенные такими средствами труда, как ЭВМ, средства измерения и другие приборы (паяльники, лабораторная посуда и т.д.).

Лаборатория представляет собой специально оборудованное помещение, в котором производятся экспериментальные исследования.

Организация рабочего места тесно взаимосвязана с формами и методами организации труда. Эта взаимосвязь выражена в организации трудового процесса, так как, осуществляя рационализацию процессов и приемов труда, можно устранить лишнее физическое напряжение научного работника, достигнуть сокращения и уплотнения движений, а также определить потребность в оснащении рабочего места устройствами и приспособлениями, способствующими экономии рабочего времени. Правильно организовать рабочее место – это значит обеспечить его в соответствии со специализацией и технологическим назначением, а также с учетом существующего уровня технического прогресса – оборудованием, инвентарем, производственной мебелью, средствами связи и оргтехники; наладить бесперебойное и ритмичное обслуживание рабочего места другими службами, материальным и информационным обеспечением; создать благоприятные условия труда для выполнения трудовых процессов. При этом материально-технические средства должны быть размещены в зоне рабочего места в соответствии с содержанием выполняемой работы и требованиями рациональных трудовых приемов.

Таким образом, под организацией рабочего места следует понимать систему мероприятий по созданию на рабочем месте условий, необходимых

для достижения высокой производительности труда при наиболее полном использовании технических возможностей оборудования, способствующего снижению утомляемости и сохранению здоровья человека.

Эргономическими аспектами проектирования рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места исследователя являются стол, кресло и испытательный стенд (ИС). Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе испытательными установками, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя и характера работ.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе исследователя следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20° ;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом $80^\circ \dots 100^\circ$;
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

5.8 Вывод по главе

Основным фактором, влияющим на производительность людей, занимающиеся данным исследованием, являются комфортные и безопасные условия труда. Условия труда в рабочей аудитории характеризуются возможностью воздействия на исследователей следующих производственных факторов: шума, выделение вредных веществ, а именно выделение озона, действие микроклимата, параметров технологического оборудования и рабочего места.

Таким образом, в данном разделе были рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием на напряжение свыше 1 кВ, а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека. Были отмечены источники негативного воздействия, меры коллективной и индивидуальной защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе проведена оценка влияния механических нагрузок и некоторых эксплуатационных факторов на кратковременную электрическую прочность макетных образцов нефтепогружного кабеля с изоляцией из блоксополимера этилена и пропилена (БСЭП).

Также была отработана методика проведения испытаний и подготовки образцов. Все методики испытания и измерения проводились на основе существующих ГОСТов.

В литературном обзоре были рассмотрены классификация и назначения силовых кабелей, различные характеристики электроизоляционных материалов, а также существующие методы определения пробивного напряжения изоляции кабелей.

В экспериментальной части приведены результаты определения влияния механических нагрузок и пластовой жидкости на пробивное напряжение изоляции макетных образцов.

В разделе финансового менеджмента представлено обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

В завершении работы были рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием, а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека. Были отмечены источники негативного воздействия, меры коллективной и индивидуальной защиты.

Список использованных источников

1. Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И. Физика диэлектриков. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 244 с.
2. Бартенев Г.М. Физика и механика полимеров: учебное пособие для вузов / Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленев. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.
3. Воробьев А.А., Воробьев Г.А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков. - М.: Высшая школа, 1966. – 224 с.
4. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т. 1/ Под редакцией Ю.В. Корицкого и др. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 368 с.: ил.
5. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т. 2/ Под редакцией Ю.В. Корицкого и др. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.: ил.
6. Алиев И. И. Электротехнический справочник: 5-е изд., стереотип. - М.: ИП РадиоСофт, 2010. — 384 с: ил.
7. Алиев И.И., Казанский С.Б. Кабельные изделия: Справочник. – М.: ИП РадиоСофт 2002. – 224 с., ил.
8. Дудкин А.Н., Ким В.С. Электротехническое материаловедение. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2004. – 198 с.
9. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 368 с.
10. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.И. Кинетическая природа прочности твердых тел: монография. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1974. – 560 с., ил.
11. Майофис И.М. Химия диэлектриков. – М.: Химия, 1981. – 247 с.
12. Электронный ресурс: режим доступа http://www.rootecom.ru/oborud/katalog/kabel/silovoy/silov_index2.htm
13. Макиенко Г. П. Кабели и провода, применяемые в нефтегазовой индустрии / Г. П. Макиенко. - Пермь: Стиль-МГ, 2004. – 518 с., ил.

14. ГОСТ 24606.1-81 «Изделия коммутационные, установочные и соединители электрические. Методы контроля электрической прочности изоляции».
15. ГОСТ 6433.3-71 «Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении».
16. ГОСТ 15845-80 «Изделия кабельные. Термины и определения».
17. ГОСТ 21515-76 «Материалы диэлектрические. Термины и определения».
18. ГОСТ 8865-93 «Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация».
19. ГОСТ 2990-78 «Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением».
20. ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
21. СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12.
22. НПБ 166-97. Пожарная техника. Огнетушители. Требования к эксплуатации.
23. Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
24. ГОСТ 12.2.003-91 «Производственное оборудование, общие требования безопасности».
25. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
26. СанПиН 2.2.4.584 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
27. ГОСТ 12.1.003 – 83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

28. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. №69-ФЗ «О пожарной безопасности».
29. Международный стандарт (МС) ИС CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».
30. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
31. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03 «Химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
32. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».
33. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [электронный ресурс]. – режим доступа <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents> .

Приложение А

Таблица 2. Определение $U_{пр}$ изоляции макетных образцов НПК

№ образ- ца	Пробивное напряжение $U_{пр}$, кВ											
	Величина относительного удлинения; $\Delta L\%$											
	0			27			11			5		
		нефть	-40°C		нефть	-40°C		нефть	-40°C		нефть	-40°C
1	34	>44	34	30	>44	31	31	>44	33	36	>44	31
2	36	>44	40,5	25	>44	29	44	>44	36	39	>43	37,5
3	40	>44	40	36	>44	35	39	>44	36	32	>44	36,5
4	43	>44	41,5	28	>44	35	36	>44	31	41	>44	42
5	43	>44	36	28	>44	27	38	>44	26	35	>43	40
6	40	>44	30,5	28	>44	36,5	35	>44	32,5	41	>44	36,5
7	39	>44	43	27	39	34	37	>44	39	27	>44	44
8	34	>44	37	29	>44	31,5	>43	32	32	36	>44	35
9	42	>44	35,5	29	>44	33	38	>44	37	34	>44	34,5
10	42	>44	35	30	>44	35	>44	>44	35	39	>44	34,5
11	42	>44	32	26	>44	34	>44	>44	31,5	35	>44	33
12	43	>44	37	35	>44	32	39	>44	42	41	>44	36,5
13	39	>44	40	32	>44	29	>43	>44	35,5	37	>44	41,5
14	42	>44	41	34	>44	35	>43	>44	27	>45	>44	39
15	41	>44	35	29	>44	34	39	>44	24	42	>44	>44
$\bar{U}_{пр}$	40,42	>44	37,2	29,73	>44	30,61	37,6	>44	33,1	37,3	>44	37,25

Таблица 3. Определение $U_{пр}$ изоляции макетных образцов НПК
деформация при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

<i>№ Образца</i>	<i>Пробивное напряжение $U_{пр}$, кВ</i>		
	<i>Величина относительного удлинения; $\Delta L\%$</i>		
	<i>27%</i>	<i>11%</i>	<i>5%</i>
<i>1</i>	33	36	30
<i>2</i>	31,5	37	39
<i>3</i>	26	32	42
<i>4</i>	32	38	38
<i>5</i>	29	34	23
<i>6</i>	34	34	44
<i>7</i>	30,5	28	34
<i>8</i>	34	38	32
<i>9</i>	32	37	38
<i>10</i>	32	28	43
<i>11</i>	32	32	36
<i>12</i>	30	40	32
<i>13</i>	28	35	41
<i>14</i>	20	39	35
<i>15</i>	26	40	>44
$\bar{U}_{пр}$	27,86	35,2	38

Приложение Б



Рис. 5.5.1. План эвакуации людей при пожаре