

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование электрофизических свойств изоляции кабельных изделий

УДК 621.315.211:539.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM08	Антюфьева Екатерина Алексеевна		

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЭЭ ИШЭ	Старцева Е. В.	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Е. В.	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Черемискина М. С.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Юшков А. Ю	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять полученные знания о физико-химических свойствах и процессах в диэлектрических материалах при разработке и эксплуатации электротехнических изделий
ПК(У)-2	Способен осуществлять технологическое сопровождение и координацию работ при производстве, контроле, испытаниях и диагностике электротехнических изделий
ПК(У)-3	Способен разрабатывать новые и модифицировать существующие конструкции кабельных изделий, электроизоляционные и высоковольтные системы
ПК(У)-4	Способен осуществлять эксплуатацию и диагностику электротехнического и высоковольтного электрооборудования

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

Юшков А.Ю
 (Ф.И.О.)

 (Подпись)

 (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM08	Антюфьевой Екатерине Алексеевне

Тема работы:

Исследование электрофизических свойств изоляции кабельных изделий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 12.05.2022 № 132-6/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1.06.2022

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: нефтепогружные кабели с полимерной изоляцией, применяемые для питания ПЭД. Техническое задание на выполнение работ, обзор литературы.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы 2. Методическая часть 3. Экспериментальная часть 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность 6. Раздел на английском языке

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point).
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Иностранный язык	Егорова Юлия Ивановна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Введение	
2. Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель/консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		
Старший преподаватель	Старцева Елена Вячеславовна	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM08	Антюфьева Екатерина Алексеевна		

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования Магистр
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника
 Период выполнения весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.03.2022 г.	Обзор литературы	10
18.05.2022 г.	Методическая часть	20
26.05.2022 г.	Экспериментальная часть	35
25.05.2022 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
02.05.2022 г.	Социальная ответственность	10
31.05.2022 г.	Заключение	5
29.05.2022 г.	Обязательное приложение, выполненное на английском языке	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЭЭ ИШЭ	Старцева Е. В.	—		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Юшков А. Ю.	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ08	Антюфьевой Екатерине Алексеевне

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта – не более 410 тыс. руб. Оклад руководителя – 48107 руб. Оклад инженера – 21611 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	15,88 % материальные расходы 30,32 % расходы на оплату труда 9,04% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	9,04 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	SWOT – анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Планирование управления научно-техническим решением
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
7. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	канд. филос. наук		21.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ08	Антюфьева Екатерина Алексеевна		21.02.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 5AM08		ФИО Антюфьевой Екатерине Алексеевне	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ)
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

Исследование электрофизических свойств изоляции кабельных изделий	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения. 	<p>Объект исследования: изоляция кабельных изделий.</p> <p>Область применения: электроэнергетика и электротехника.</p> <p>Рабочая зона: лаборатория.</p> <p>Размеры помещения: 6,5×4×3,2 м.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: учебно-лабораторный высоковольтный стенд – 1шт.; установка для высоковольтных испытаний макетных образцов кабельных изделий – 1 шт.; набор инструментов для электромонтера – 1 шт; стул – 1 шт.; ручка – 1 шт; тетрадь – 1 шт; ноутбук Acer – 1 шт.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: подача высокого напряжения на изоляцию макетных образцов кабельных изделий.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<ul style="list-style-type: none"> – Вредные факторы: отклонение показателей микроклимата; отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенный уровень шума; повышенный уровень электромагнитных полей; статическое электричество. – Опасные факторы: повышенное значение напряжения в электрической цепи (до 35 кВ); поражение электрическим током; термическое поражение. – Средства коллективной и индивидуальной защиты от вредных факторов: равномерное

	<p>искусственное освещение рабочей зоны; системы местного кондиционирования и отопления; экранирующие устройства; противошумные наушники.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Средства коллективной и индивидуальной защиты от опасных факторов: устройства защитного заземления; устройства автоматического отключения; спецодежда; спецобувь; средства защиты рук. – Фактор, по которому будет производиться расчет: защитное заземление для стенда киловольтметра и др. обслуживающего оборудования для предотвращения поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<ul style="list-style-type: none"> – Воздействие на селитебную зону: повышенный уровень шума, повышенная электрическая напряженность для близлежащей местности. – Воздействие на литосферу: твердые отходы (отходы бумаги, пробитые макетные образцы) негативно воздействуют на почву. – Воздействие на гидросферу: твердые отходы отрицательно воздействуют на биосреду рек, озер, водоемов, морей и океанов. – Воздействие на атмосферу: электромагнитное загрязнение атмосферы путем эксплуатации высоковольтной установки.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	<p>Возможные ЧС: землетрясение, террористический акт.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Разработка мер по предупреждению ЧС. – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	–		11.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ08	Антюфьева Екатерина Алексеевна		11.02.2022

Реферат

Магистерская диссертация содержит 119 страниц, 39 рисунков, 31 таблицу, 20 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: нефтепогружные кабели, кабельная линия, электрическая прочность, пробивное напряжение, электрофизические характеристики, полимерная изоляция, высоковольтные испытания, температура.

Объектами исследования являются: изоляция блок-сополимер пропилен с этиленом НПК марок 02МК, КПЭ-135нк, Армлен ПП-6Эк

Цель работы: анализ длительной электрической прочности изоляции кабельных изделий

В работе проведены исследования влияния повышенного напряжения на электрическую прочность полимерной изоляции НПК и влияния температуры на электрофизические свойства. Отработаны методики и даны рекомендации по проведению испытаний и измерений.

Обозначения и сокращения

ПЭД – погружной электрический двигатель;

НПК – нефтепогружной кабель;

ТПЖ – токопроводящая жила;

$U_{пр}$ – пробивное напряжение;

БСЭП – блок-сополимер этилен с пропиленом;

УЭЦН – установка электрического центробежного насоса.

Оглавление

Введение.....	12
1 Литературный обзор.....	13
1.1 Номенклатура НПК и их свойства.....	13
1.2 Условия эксплуатации и требования к НПК.....	18
1.2.1 Старение изоляции НПК.....	20
1.3 Методы контроля и испытаний электрической прочности.....	22
1.3.1 Определение пробивного напряжения и электрической прочности.....	22
1.3.2 Испытания на электрическую прочность.....	23
1.4 Выводы по литературному обзору и постановку задач на исследование.....	25
2 Методическая часть.....	27
2.1 Методика определения электрической прочности изоляции макетных образцов при деформации.....	27
2.1.1 Подготовка образцов.....	27
2.1.2 Методика высоковольтных испытаний кабельных изделий.....	28
2.2 Методика определения электрической прочности изоляции макетных образцов на электротепловой пробой.....	32
2.2.1 Подготовка образцов.....	32
2.2.2 Методика высоковольтных испытаний кабельных изделий при повышенной температуре.....	32
2.3 Методика определения электрической прочности фторированной изоляции кабельных изделий.....	34
2.3.1 Подготовка образцов.....	34
2.3.2 Методика высоковольтных испытаний кабельных изделий с фторированной изоляцией.....	35
2.4 Методика определения электрофизических свойств полимерной изоляции.....	38
2.4.1 Подготовка образцов.....	38

2.4.2 Методика снятия электрофизических характеристик.....	39
3 Экспериментальная часть.....	42
3.1 Объекты исследования.....	42
3.2 Определение пробивного напряжения изоляции при деформации.....	43
3.3 Определение пробивного напряжения изоляции при повышенной температуре.....	47
3.4 Определение пробивного напряжения фторированной изоляции.....	49
3.5 Экспериментальное определение электрофизических параметров фторированной изоляции.....	52
3.6 Обсуждение результатов.....	57
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	60
4.1 Предпроектный анализ.....	60
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	60
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
4.1.3 SWOT- анализ.....	62
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	64
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	66
4.2 Инициация проекта.....	66
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	68
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	68
4.3.2 Контрольные события проекта.....	69
4.3.3 План проекта.....	70
4.4 Бюджет научного исследования.....	72
4.4.1 Формирование сметы научного исследования.....	76
4.4.2 Организационная структура проекта.....	77
4.4.3 План управления коммуникациями проекта.....	77
4.4.4 Реестр рисков проекта.....	78
4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	78

5 Социальная ответственность.....	83
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	83
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	83
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	84
5.2 Производственная безопасность.....	85
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	85
5.2.2 Микроклимат.....	86
5.2.3. Освещение.....	88
5.2.4 Электробезопасность.....	89
5.2.5 Повышенный уровень электромагнитных полей.....	93
5.3 Экологическая безопасность.....	94
5.3.1 Анализ влияния проектируемого решения на окружающую среду.....	94
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	95
Заключение.....	99
Список использованных источников.....	100
Приложение А.....	102

Введение

В настоящее время нефтепогружные кабели (НПК) 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 механическим нагрузкам, электрическим нагрузкам, воздействию давления, пластовой жидкости и температуре окружающей среды.

Длительно эксплуатируемые нефтепогружные кабели со временем утрачивают качество своей изоляции, что приводит к ухудшению электрофизических свойств и ее пробоем. Конечно, современные изоляционные материалы более долговечны, чем применяемые ранее, но во многих случаях НПК долго не менялись, и проблема ухудшения свойств изоляции остается таковой.

При выполнении ВКР отработаны методика высоковольтных испытаний при различных эксплуатационных факторах и методика определения электрофизических свойств полимерной изоляции при нагреве. После чего проведена оценка изменения пробивного напряжения изоляции при таких воздействиях и изменения электрофизических свойств под воздействием температуры.

1 Литературный обзор

1.1 Номенклатура НПК и их свойства

Нефтепогружной кабель используется для привода двигателей погружных насосов, которые применяются для того, чтобы откачивать нефть при бурении скважин. Вследствие специфики эксплуатации (а эти кабели работают погруженными в скважную жидкость, состоящую из смеси воды, газа и нефти), необходимо оснащать НПК специальной изоляцией, оболочкой и броней, а также выполнять специальной конструкции

Описание используемых видов материалов и конструкции для НПК представлено в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Классификация НПК

Материал изоляции	П – Полиэтилен высокой плотности; Пв – Полиэтилен высокой плотности вулканизированный; Пт – Полимерная терлостойкая композиция; Пп – Композиция полипропилена, сополимеры и блок-сополимеры пропилена; Пс – Радиационно-модифицированный полиэтилен; И – Пленка полиимидно-фторопластовая; Ф – Фторсополимер; Э – Резина на основе этиленпропиленового каучука; л – Лаковая (эмалевая) изоляция Т – Термоэластопласт
Материал оболочки	О – Общая оболочка; Н – Резина на основе нитрильного каучука; С – Свинец и его сплавы; Ф – Фторсополимер;
Ленточный бандаж	Л – Фторопластовая лента; Лп – Полиэтилентерефталатная лента
Подушка	Без обозначения – Обмотка лентами (натканый материал) или оплетка;
Материал брони	Б – Лента стальная оцинкованная; Бк или Бнк – Лента из коррозионностойкой стали; Блк – Лента из стали с коррозионностойким покрытием из латуни
Конструктивное исполнение	К – Круглый кабель; П – Плоский кабель

Примечание. Согласно ГОСТ Р 51651 для изоляции и оболочек допускается применение других материалов с обозначением соответствующей буквой (сочетанием букв), а также применение других металлических лент с обозначением в виде сочетания прописной буквы Б и строчной буквы, указывающей материал ленты [2].

Номинальное напряжение переменного тока частоты 50 Гц НПК должно быть:

2,5 кВ – для кабелей с основными жилами сечением 6 мм²;

3,3; 4,0; 5,0 кВ – для кабелей с основными жилами остальных сечений.

Длительно допустимая температура нагрева жил кабелей определяется в зависимости от применяемого вида материала изоляции и оболочки (таблица 2) [1].

Таблица 2 – Значения температур нагрева ТПЖ от используемого материала

Длительно допустимая температура нагрева жил кабеля, °С, не более	Материал изоляции и оболочек
90	Изоляция из полиэтилена высокой плотности
100	Изоляция из композиции полипропилена
110	Изоляция из термоэластопластов
120	Изоляция из вулканизированного полиэтилена высокой плотности, сополимеров и блоксополимеров пропилена
130	Оболочки из резины на основе нитрильного каучука
150	Изоляция из радиационно-модифицированного полиэтилена
160	Изоляция из фторопласта и фторсополимеров
200	Полиимидно-фторопластовая изоляция и оболочки из резины на основе этиленпропиленового каучука, а также оболочки из свинца и его сплавов
230	Изоляция из этиленпропиленовой резины, а также из полиимидной-фторопластовой пленки

В случае если изоляция и оболочка выполняются из нескольких слоев разнородных материалов, то длительно допустимая температура нагрева ТПЖ устанавливается по материалу с меньшей нагревостойкостью.

Число основных жил в НПК – три; их номинальное сечение выбирают из ряда 6; 8; 10; 13,3; 16; 21,15; 25, 35 и 50 мм² [1].

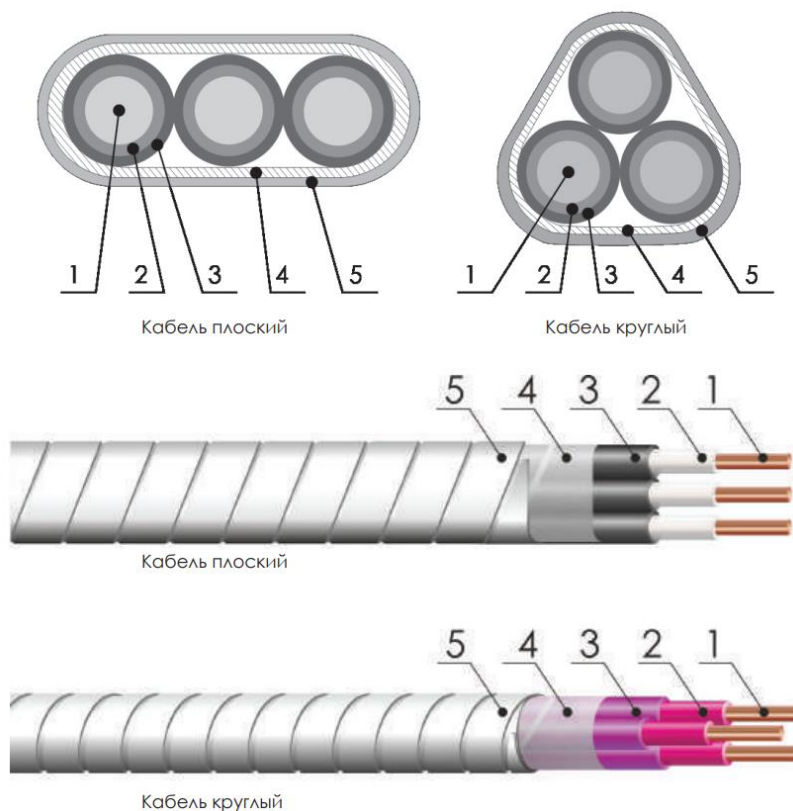


Рисунок 1 – Схематические чертежи поперечного сечения кабелей и внешний вид конструктивных элементов:

1 – ТПЖ; 2 – первый слой изоляции; 3 – второй слой изоляции; 4 – Подушка; 5 – Броня

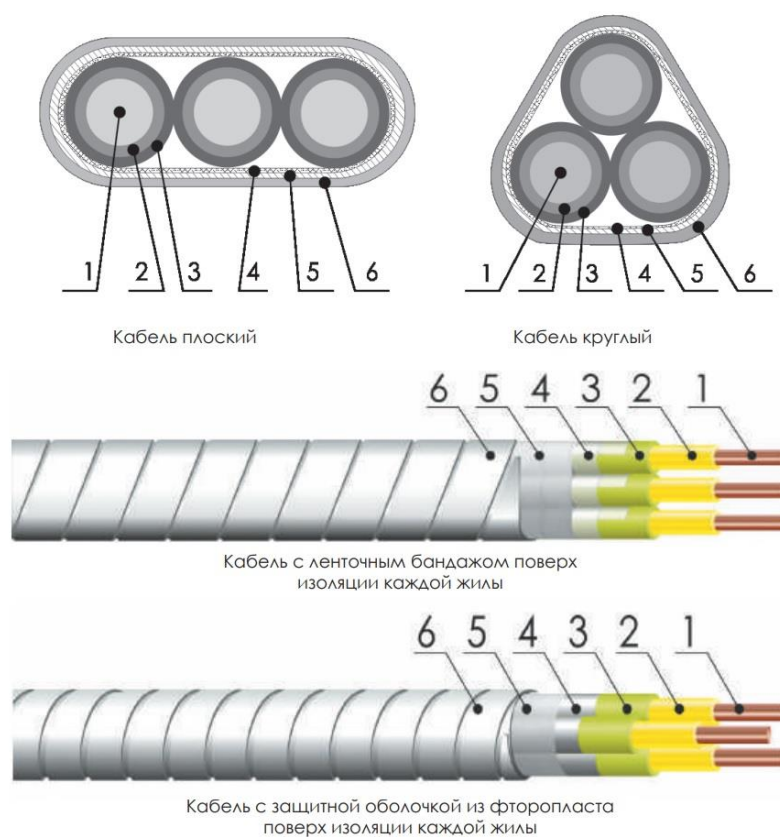


Рисунок 2 – Схематичные чертежи поперечного сечения кабелей и внешний вид конструктивных элементов:

1 – ТПЖ; 2 – первый слой изоляции; 3 – второй слой изоляции; 4 – Ленточный бандаж или защитная оболочка; 5 – Подушка; 6 – Броня

В таблице 3 представлены марки кабеля, изготавливаемые на территории РФ.

Таблица 3 – Марки нефтепогружных кабелей

Марка изделия	Нормативная документация	Число жил	Номинальное сечение жил, мм ²	Номинальное напряжение, кВ	Климатическое исполнение	Диапазон допустимых температур
КПБП-90 КПБкП-90 КПБК-90 КПБкК-90	ТУ 16-505.129-2002 ГОСТ Р 51777-2001	3	10; 13,3; 16 21,15; 25; 35	3,3	УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, и для эксплуатации и в скважинной жидкости	От -35°С до +90°С; в статическом состоянии от -60°С до +90°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля +90°С.

Продолжение таблицы 3

<p>КПпБП-120 КПпБкП-120 КПпБК-120 КПпБкК-120</p>	<p>ТУ 16.К71-293-2002 ГОСТ Р 51777-2001</p>	<p>3</p>	<p>10; 13,3; 16 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3</p>	<p>УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, и для эксплуатации и в скважинной жидкости</p>	<p>От -30°С до +120°С; в статическом состоянии от -60°С до +120°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля +120°С.</p>
<p>КПсПБП-120 КПсПБкП-120 КПсПБК-120 КПсПБкК-120 КПсПБнкП-120 КПсПБнкК-120</p>	<p>ТУ 16.К13-012-2002 ГОСТ Р 51777-2001</p>	<p>3</p>	<p>10; 13,3; 16 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3; 4,0; 5, частотой 50—70Гц</p>	<p>УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, и для эксплуатации и в скважинной жидкости</p>	<p>От -40°С до +120°С; в статическом состоянии от -60°С до +120°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля +120°С.</p>
<p>КПсПпБП-120 КПсПпБкП-120 КПсПпБК-120 КПсПпБкК-120 КПсПпБнкП-120 КПсПпБнкК-120</p>	<p>ТУ 16.К13-012-2002 ГОСТ Р 51777-2001</p>	<p>3</p>	<p>10; 13,3; 16 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3; 4,0; 5, частотой 50—70Гц</p>	<p>УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, и для эксплуатации и в скважинной жидкости</p>	<p>От —40°С до +120°С; в статическом состоянии от -60°С до +120°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля +120°С.</p>
<p>КПсПпБП-130 КПсПпБкП-130 КПсПпБК-130 КПсПпБкК-130 КПсПпБнкП-130 КПсПпБнкК-130</p>	<p>ТУ 16.К13-012-2002 ГОСТ Р 51777-2001</p>	<p>3</p>	<p>10; 13,3; 16 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3; 4,0; 5, частотой 50—70Гц</p>	<p>УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, и для эксплуатации и в скважинной жидкости</p>	<p>От -40°С до +130°С; в статическом состоянии от -60°С до +130°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля до +130°С.</p>

Продолжение таблицы 3

КПсПБП-130 КПсПБкП-130 КПсПБК-130 КПсПБкК-130 КПсПБнкП-130 КПсПБнкК-130	ТУ 16.К13-012-2002 ГОСТ Р 51777-2001	3	10; 13,3; 16 21,15; 25; 35	3,3; 4,0; 5,0 частотой 50—70Гц	УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, для эксплуатации и в скважинной жидкости	От -40°С до +130°С; в статическом состоянии; от -60°С до +130°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля до +130°С.
КПсТБП-150 КПсТБкП-150 КПсТБК-150 КПсТБкК-150 КПсТБнкП-150 КПсТБнкК-150	ТУ 16.К13-034-2012 ГОСТ Р 51777-2001	3	10; 13,3; 16 21,15; 25; 35	3,3; 4,0; 5,0 частотой 50—70Гц	УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, для эксплуатации и в скважинной жидкости	От -ДОХ до +150°С; в статическом состоянии; от -60°С до +150°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля до +150°С.
КПсТБП-160 КПсТБкП-160 КПсТБК-160 КПсТБкК-160 КПсТБнкП-160 КПсТБнкК-160	ТУ 16.К13-036-2010 ГОСТ Р 51777-2001	3	10; 13,3; 16 21,15; 25; 35	3,3; 4,0; 5,0 частотой 50—70Гц	УХЛ; категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69, для эксплуатации и в скважинной жидкости	От -40°С до +160°С; в статическом состоянии: от -60°С до +160°С; длительно допустимая температура нагрева жил кабеля до +160°С.

1.2 Условия эксплуатации и требования к НПК

Эксплуатация НПК 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.

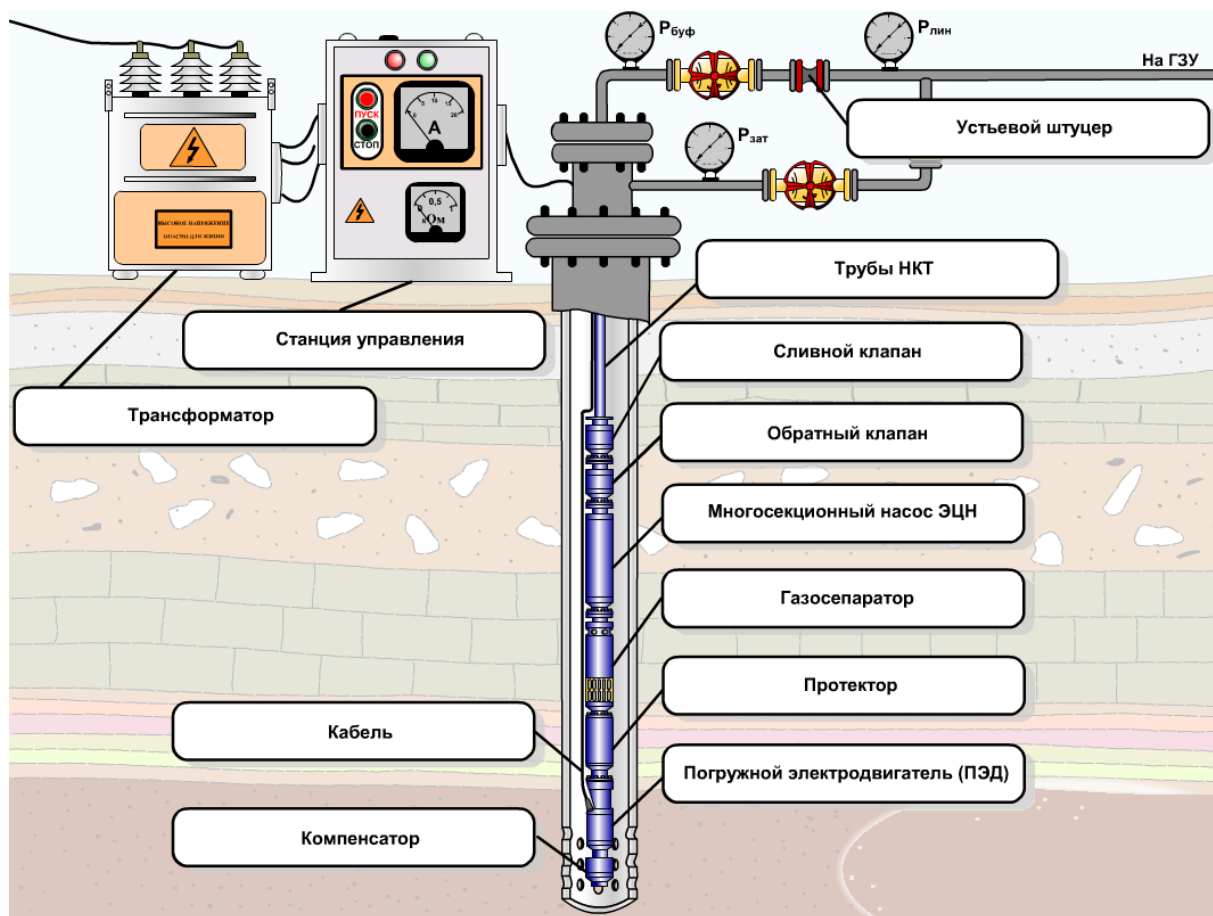


Рисунок 3 – Установка электрического центробежного насоса

При эксплуатации НПК практически не подвергаются растягивающим нагрузкам, но подвержены значительно изгибающим, крутящим нагрузкам, а также воздействию сил трения при подъеме и опускании системы в скважину.

Кабели постоянно подвержены воздействию давления и температуры окружающей среды, влияние которой определяется ее составом, а также составом растворенных в ней газов (наиболее концентрацией сероводорода). Так под действием термобарического фактора происходит набухание изоляции,

изменение электромеханических характеристик, а также большое влияние оказывают механические нагрузки при подъеме и опускании кабеля. Все эти факторы приводят к сокращению ресурсов кабеля.

Условия эксплуатации кабелей являются чрезвычайно жесткими:

- комплексное воздействие повышенной температуры;
- высокое гидростатическое давление;
- агрессивная эксплуатационная среда;
- механические воздействия;
- высокий газовый фактор скважной жидкости;
- перепад давления и температуры по длине кабельной линии во

время эксплуатации.

В процессе эксплуатации кабельных линий для погружных электронасосов верхний конец кабеля находится на поверхности земли, при этом наблюдается существенное различие между температурой на поверхности земли и температурой среды скважины. Также нужно учитывать повышение температуры кабельной линии за счет тепла, которое выделяется электродвигателем и насосом. При нормальных режимах перепад температур в скважине может достигать 20°C, в аварийных режимах от 40-50 °C и выше происходит срыв нефти, что приводит к расплавлению изоляции, а вследствие и к короткому замыканию между жилами [3].

Все отмеченные факторы приводят к старению изоляции, ухудшению электрофизических свойств и выходу из строя кабельной линии. Поэтому главной задачей в современных разработках нефтепогружных кабелей является применение новых материалов, которые позволят улучшить характеристики кабельных линий для установок ЭЦН.

1.2.1 Старение изоляции НПК

Длительно эксплуатируемые НПК со временем утрачивают качество своей изоляции, а именно приводит к старению изоляции. Как описывалось

выше, это происходит под влиянием ряда факторов. Различают следующие виды старения изоляции:

1) Тепловое старение. Под действием рабочей температуры в изоляции НПК протекают химические реакции, в результате которых ухудшается качество изоляции, обуславливаемые изменением ее структуры. Такой процесс называется тепловым старением. Под действием теплового старения у диэлектрика (изоляционного материала) со временем уменьшается механическая прочность, из-за чего в диэлектрике возникают дефекты и повреждения под действием механических нагрузок. Длительное воздействие данных процессов приводит к пробое и последующего выхода из строя кабельной линии. Температурное воздействие является основным фактором, который определяет срок службы НПК. В технической литературе достаточно информации о влиянии температурного фактора, поэтому лучше других поддается количественному учету.

2) Электрическое старение. В процессе работы кабельная линия, питающая погружной электродвигатель, длительное время находится под рабочим напряжением, что приводит к постепенному износу изоляции, а именно развивается процесс электрического старения. Данный процесс протекает медленнее в сравнении с тепловым старением, но постепенно ускоряется по мере развития общего разрушения, возникающие под воздействием механических и тепловых нагрузок. Электрическое старение сопровождающегося расслоением и разрыхлением изоляции, формированием в ней пор и образований воздушных и газовых включений, а также трещин. Возникшие микродефекты со временем увеличиваются в размерах и возрастает их общее количество. В результате за счет различных неоднородностей, в изоляционном материале развиваются ионизационные процессы, которые прогрессируют ее разрушение. Ионы, разгоняющиеся в электрическом поле, бомбардируют поверхность изоляционных прослоек. В пустотах изоляции, особенно при перенапряжениях, возникают частичные разряды, разрушающие

отдельные слои изоляции за счёт теплового эффекта и механического расщепления.

3) Электротепловое старение. При электротепловых нагрузках процесс старения протекает намного быстрее, т.к. увеличение температуры увеличивает амплитуду тепловых колебаний. Под воздействием температуры увеличивается потенциальный барьер, что позволяет высвободиться слабо связанным ионам и увеличивать концентрацию носителей заряда (плотность тока). Одновременное воздействие тепловых и электрических нагрузок приводит к более быстрому разрушению и старению изоляции.

1.3 Методы контроля и испытаний электрической прочности

1.3.1 Определение пробивного напряжения и электрической прочности

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 [4].

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

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 [5].

Электрическая прочность зависит от множества факторов, в том числе от 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.

Электротепловой пробой обусловлен повышением температуры диэлектрика за счет роста диэлектрических потерь или сквозной проводимости. Обычно происходит разогрев лишь отдельных участков диэлектрика, имеющих повышенное значение $\text{tg}\delta$ или заниженное значение сопротивления изоляции из-за местных неоднородностей. Электротепловой пробой материала сопровождается обугливанием канала, образующегося при пробое. Значение электрической прочности при электротепловом пробое зависит не только от материала, но и от частоты тока, условий охлаждения, температуры окружающей среды, теплоемкости материала и т. п.

Электротепловой пробоя наблюдается при развитии теплового пробоя и, как правило, длительного воздействия приложенного напряжения [5].

1.3.2 Испытания на электрическую прочность

Изолированные основные жилы и готовые кабели должны выдерживать испытания напряжением постоянного тока в течение не менее 5 мин. Значения испытательного напряжения и ток утечки, замеренный в конце испытания напряжением и пересчитанный на длину 1 км и температуру 20 °С, должны соответствовать значениям, указанным в таблице 4.

Таблица 4 – Значения испытательного напряжения и тока утечки

Номинальное напряжение, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Ток утечки изоляции при испытательном напряжении, мкА, не более, для кабелей	
		с пластмассовой изоляцией и изоляцией из термоэстопластов	С резиновой изоляцией
2,5	14,5	10	50
3,3	18,0		
4,0	20,0		
5,0	24,5		

Определение тока утечки изоляции кабелей производится на отрезке кабеля или изолированной жилы, намотанных на барабане при длине не менее 50 м. Барабан с образцом помещается в емкость с водой так, чтобы вода полностью покрывала образцы; при этом оба разделенных конца кабеля должны быть выведены из воды на длину – не менее 1 ч. Допускается испытание образцов кабеля на воздухе без погружения в воду. Измеряется электрическое сопротивление изоляции кабеля, которое при пересчете на длину 1 км и температуру 20 °С должно быть не менее вышеуказанных значений. Кабель испытывается постоянным напряжением, значения которого указаны в таблице 4, в течение 5 минут.

Спустя не менее 5 минут после испытания повышенным напряжением, с помощью микроамперметра определяется фактическое значение тока утечки изоляции испытуемого образца, которое при пересчете на длину 1 км и температуру 20 °С не должно быть более значений, приведенных в таблице 4. Для образца кабеля ток утечки изоляции определяется отдельно для каждой жилы. Измеренное значение тока утечки пересчитывается на длину 1 км и температуру 20 °С по формуле:

$$I_y = \frac{I_{\text{изм}}}{k \cdot L},$$

где I_y – ток утечки, пересчитанный на длину 1 км и температуру 20 °С, А; $I_{\text{изм}}$ – измеренное значение тока утечки, А; k – коэффициент для приведения электрического сопротивления изоляции к температуре 20 °С, указываемый в

технических условиях на кабель конкретной марки; L – длина образца на барабане, км [1].

1.4 Выводы по литературному разделу и постановка задач на исследование

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

- Качество изоляции, ее состояние и способность выдерживать определенные нагрузки эффективно отражается значением ее электрической прочности.

- 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.

- Электрическая прочность зависит от множества факторов, в том числе от электрофизических, механических и физико-химических параметров изоляции. Снижение электрической прочности кабеля приводит к снижению электрофизических характеристик.

- Испытания на электрическую прочность, является наиболее достоверным типом испытаний, на основании которой, делается заключительный вывод о возможности продолжения нормальной работы, ремонта или полной замены НПК.

Таким образом изучение вопроса влияния испытательного напряжения на электроизоляционные свойства НПК с полимерной изоляцией является актуальной задачей.

Цель: исследование влияния эксплуатационных факторов на пробивное напряжение изоляции нефтепогружных кабелей.

Задачи:

1. Отработать методику оценки пробивного напряжения изоляции при деформации.
2. Отработать методику оценки пробивного напряжения изоляции при повышенной температуре
3. Отработать методику оценки пробивного напряжения фторированной изоляции.
4. Исследовать величину пробивного напряжения изоляции при данных методиках
5. Отработать методику измерений электрофизических параметров полимерной фторированной изоляции.
6. Провести экспериментальную оценку влияния фторирования на электрофизические свойства полимерной изоляции.
7. Разработать рекомендации по испытаниям изоляции НПК на электрическую прочность.
8. Разработать рекомендации по измерениям электрофизических характеристик.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

В данном проекте сегментами рынка являются:

- испытательные лаборатории;
- исследовательские институты;
- заводы по изготовлению изоляционного состава для нефтепогружного кабеля;

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет провести оценку эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты. Для сравнения выбраны следующие виды изоляции для кабельных изделий: изоляция КПЭ 135нк (в таблице 14 Бэ, Кэ), изоляция Армлен ПП-6ЭК (в таблице 14 Бар, Кар), изоляция 02МК (в таблице 14 Бмк, Кмк).

Таблица 14 – оценочная карта сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бэ	Бар	Бмк	Кэ	Кар	Кмк
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Технологичность	3/0,058	4	5	2	0,232	0,29	0,116
Удобство монтажа	5/0,096	5	5	3	0,48	0,48	0,288
Пробивная способность	4/0,77	4	5	3	0,308	0,385	0,231
Безопасность при пробое	3/0,058	5	5	4	0,29	0,29	0,232
Универсальность для кабелей	4/0,077	5	5	4	0,385	0,385	0,308
Надежность изоляции	5/0,096	5	5	3	0,48	0,48	0,288
Стабильность свойств	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384
Экономические критерии оценки эффективности							
Стоимость изоляции	4/0,077	4	5	2	0,308	0,385	0,154
Уровень проникновения на рынок	2/0,038	3	4	3	0,414	0,308	0,114
Стоимость проведения испытаний	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384

Продолжение таблицы 14

Цена оборудования	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384
Финансирование научной разработки	3/0,058	2	5	1	0,116	0,29	0,058
Наличие сертификации разработки	4/0,077	5	5	5	0,385	0,385	0,385
Итого	52/1				3,636	4,891	3,326

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Вес каждого показателя в долях единицы равняется:

$$V_{i5} = \frac{5}{52} = 0,096; V_{i4} = \frac{4}{52} = 0,077; V_{i3} = \frac{3}{52} = 0,058; V_{i2} = \frac{2}{52} = 0,038$$

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i-го показателя.

По результатам оценочной карты сравнения конкурентных технических разработок, изоляция КПЭ 135нк является конкурентоспособней, чем изоляция Армлен ПП-6ЭК, но уступает изоляции 02МК из-за недостатка источников финансирования.

4.1.3 SWOT- анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 15). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сначала описываются сильные и слабые сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. После чего выявляются соответствия сильных и

слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 15 – SWOT- анализ

	<p>Сильные стороны научно – исследовательского проекта (S) С1. Уменьшение брака кабельной продукции С2. Увеличения срока службы С3. Надежность методики испытания провода С4. Квалифицированный персонал ТПУ С5. Тесное сотрудничество с производителем продукции</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: (W) Сл1. Отсутствие квалифицированных кадров по работе с испытательной разработкой. Сл2. Необходимость разработки испытательного оборудования Сл3. Недостаточно информации по комплексным испытаниям Сл4. Большой срок поставки оборудования и образцов</p>
<p>Возможности: (O) В1. Привлечение квалифицированных специалистов в ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на разработку В3. Отрегулирование сроков поставки оборудования и испытательных образцов</p>	<p>Мероприятия (S-O) Высокий профессионализм научного персонала, Высокий спрос на методику проведения испытаний. Увеличение надежности и качества испытательного оборудования</p>	<p>Мероприятия (W-O) Низкая информированность – активная реклама. Устранение перебоев в поставках – тесные связи с производителем. Дополнительные издержки – выход на новые рынки.</p>
<p>Угрозы: (T) У1. Введение дополнительных государственных требований к методам испытаний У2. Развитие конкурентных методик У3. Информационные материалы могут быть использованы конкурентами</p>	<p>Мероприятия (S-T) Помощь ТПУ при корректировке разработанной методики испытаний изоляции кабеля с учетом доп. гос. требований.</p>	<p>Мероприятия (W-T) Появление конкурентов-увеличение стоимости проведения испытания. Введение дополнительных требований к методам испытаний – необходимость разработки и усовершенствования испытательного оборудования.</p>

Для данного анализа использовалась интерактивная матрица проекта (таблица 16).

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	S-O					
1 квадрант		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	0	+	-
	B2	-	+	+	0	-
	B3	+	+	-	0	+
W-O						
2 квадрант		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	B1	+	+	-	+	
	B2	-	+	0	+	
	B3	0	+	+	-	
S-T						
3 квадрант		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	+	+	0
	У2	0	-	-	+	+
	У3	0	0	+	-	+
W-T						
4 квадрант		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	У1	-	+	+	+	
	У2	+	-	0	+	
	У3	+	0	+	-	

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим готовность проекта к коммерциализации, заполнив таблицу 17.

Таблица 17 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический раздел	5	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4

Продолжение таблицы 17

Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
Итого баллов	45	47

По суммарным значениям баллов, итоговое значение составило 47. Можно сказать, что проект обладает перспективностью выше среднего. Значение позволяет говорить о готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Тем не менее, произведенная оценка готовности научной разработки требует дальнейшего совершенствования проекта и более глубоких исследований в области маркетинга.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение финансирования для продолжения своих научных исследований и разработок (получение оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания. Для данной разработки наиболее подходит *инжиниринг*, т.е. комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции. Возможна следующая схема коммерциализации: между НИ ТПУ и предприятием-заказчиком инжиниринговых услуг заключается хозяйственный договор. Исполнитель предоставляет необходимые материалы, купленные на средства предприятия-заказчика с использованием производственной базы НИ ТПУ, и услуги диагностики для предприятия-заказчика

4.2 Инициация проекта

В рамках инициации определяются цели и содержание проекта, определяется объем финансирования. Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 18.

Таблица 18 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Исполнитель проекта	Разработка уникальной методики проведения испытаний
Руководитель проекта	Выпуск научной работы, получение гранта

Продолжение таблицы 18

НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 19

Таблица 19 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Проанализировать влияние электрической и электротепловой нагрузки на электрическую прочность изоляции нефтепогружных кабелей
Ожидаемые результаты проекта:	Разработать методику проведения испытаний изоляции нефтепогружных кабелей
Критерии приемки результата проекта:	Возможность обнаружения дефектов в изоляции НПК. Определение электрофизических характеристик фторированной изоляции
Требования к результату проекта:	Повышение эффективности методики при частоте $f = 50$ Гц.
	Проведение высоковольтного испытания макетного образца при напряжении 3Уном.

Таблица 20 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
Леонов Андрей Петрович, НИ ТПУ Доцент, к.т.н	Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов 2. Проведение эксперимента	114
Антюфьева Екатерина Алексеевна, НИ ТПУ, Судентка группы 5АМ08	Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение эксперимента 2. Анализ результатов экспериментов. 3. Анализ имеющихся технических решений и результатов	570
Итого:			684

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

Таблица 21 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	618993,04 рублей
3.1.1. Источник финансирования	Заводы изготовители
3.2. Сроки проекта:	150 дней
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	11.01.22
3.2.2. Дата завершения проекта	15.06.22
3.3. Прочие ограничения и допущения*	Испытания проводить в условиях работы термошкафа не более 200 градусов из-за риска возникновения озона

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 35 представлен шаблон иерархической структуры работ.

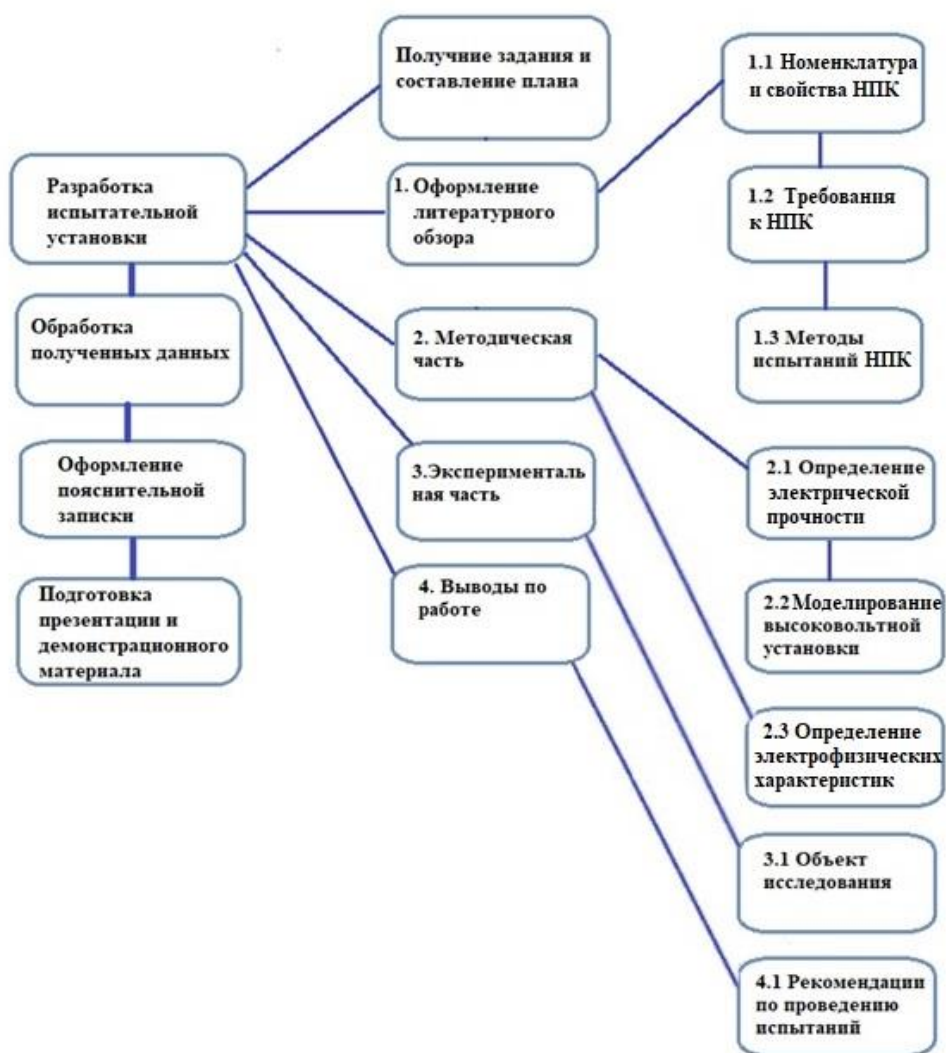


Рисунок 35 – Иерархическая структура работ по проекту

4.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 22 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Составление ТЗ и его утверждение, разработка плана-графика	11.01.22	Составление плана работ
2	Начало изучения литературы	15.01.22	Составление схемы экспериментальной установки
3	Подбор необходимых материалов	11.02.22	Сборка экспериментальной установки

Продолжение таблицы 22

4	Снятие первых характеристик	13.03.22	Проверка работоспособности установки
5	Испытание образцов повышенным напряжением	15.03.22	Проверка эффективности образцов при повышенных нагрузках
6	Снятие электрофизических параметров изоляции	22.03.22	Определение электрофизических свойств изоляции
7	Вывод о проведенных экспериментах	25.03.22	Написание основной части
8	Разработка направлений коммерциализации проекта	22.04.22	Заключение договора с предприятием-заказчиком и получение прибыли

4.3.3 План проекта

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

Линейный график представляется в виде таблицы 23.

Таблица 23 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Поиск заказчика, заключение контракта	7	11.01.22	17.01.22	Руководитель
2	Сбор информации и формирование концепции проекта	25	18.01.22	11.02.22	Инженер
3	Разработка и утверждение плана работ заказчика	8	12.02.22	19.02.22	Руководитель
4	Доставка и приемка образцов заказчиком	21	20.02.22	12.03.22	Инженер
5	Входной контроль и испытания опытных образцов	10	13.03.22	22.03.22	Инженер
6	Измерение параметров изоляции	5	23.03.22	27.03.22	Инженер
7	Анализ результатов испытаний и измерений	21	28.03.22	17.04.22	Инженер
8	Сравнение с аналогами, выявление преимуществ	14	18.04.22	01.05.22	Инженер
9	Подготовка и сдача отчета по проекту	8	02.05.22	09.05.22	Руководитель
10	Подготовка и сдача отчета по проекту	16	10.05.22	25.05.22	Инженер
ИТОГО	Инженер		112 (из них 95 рабочих)		
	Руководитель		23 (из них 19 рабочих)		

Таблица 24 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Ко д ра бо ты	Вид работ	Исполни тели	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Янв.		Февр.			Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Поиск заказчика, заключение контракта	Руководитель	8															
2	Сбор информации и формирование концепции проекта	Инженер	25															
3	Разработка и утверждение плана работ заказчиком	Руководитель	8															
4	Выбор направления исследования	Инженер	21															
5	Входной контроль и испытания опытных образцов	Инженер	10															
6	Измерение параметров изоляции	Инженер	5															
7	Анализ результатов испытаний и измерений	Инженер	21															
8	Сравнение с аналогами, выявление преимуществ	Инженер	14															
9	Подготовка и сдача отчета по проекту	Руководитель	8															
10	Подготовка и сдача отчета по проекту	Инженер	16															



Инженер



Руководитель

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов), необходимые для выполнения работ по данной теме приведены в таблице 24. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ необходимые для проведения работ по теме НИР приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование изоляционного материала	Кол-во	Цена за единицу, тыс. руб.	Сумма, руб.
02МК	10	798,5	7985
КПЭ 135нк	10	802,9	8020
Армлен ПП-6ЭЖ	10	828,2	8283
ПЭНП 153-01	10	730,2	7302
Фторированный 02МК	10	867,5	8675
Фторированный КПЭ 135 нк	10	954,3	9543
Фторированный Армлен ПП-6ЭЖ	10	1000,2	10002
Фторированный образец	2	560	1120
Нефторированный образец	2	490	980
Всего за материалы			61910
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			2476,4
Итого			64386,4

Таблица 26 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Выключатель автоматический однополюсный IEK С ВА47-29 16 А	2	112	224
Термошкаф	1	32290	32290
Термостат	1	65480	65480
Измеритель LCR-7829	1	81840	81840
Измерительный проводной щуп LCR-12	1	48620	48620
Мультиметр MASTECH MAS830	1	850	850
Электронный штангенциркуль ЗУБР 34463-100	1	3115	3115
Итого			232419

Рассчитаем амортизацию отчислений. Амортизация рассчитывается для оборудования стоимостью свыше 40 тыс. руб.

ТПУ приобрел термостат, измеритель LCR-7829 и измерительный проводной щуп LCR-12, балансовая стоимость которых 195940 руб. Срок полезного использования ($C_{\text{пи}}$) устанавливается по наибольшему сроку, определенному для указанной амортизационной группы. Срок полезного использования ($C_{\text{пи}}$) для данного спецоборудования составляет 4 года.

Норма амортизации определяется следующим образом:

$$N_A = \frac{100\%}{C_{\text{пи}}} = \frac{100\%}{4} = 25\%.$$

Тогда ежегодная амортизация равняется:

$$A_{\Gamma} = \frac{195940 \cdot 25\%}{100\%} = 48985 \text{ руб.}$$

Следовательно ежемесячная амортизация равняется:

$$A_{\text{м}} = \frac{48985}{12} = 4082,1 \text{ руб.}$$

Спецоборудование эксплуатировалось в течении 5 месяцев, тогда амортизация будет равна:

$$A = 4082,1 \cdot 5 = 20410,5 \text{ руб.}$$

Включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (10–15 % от $Z_{осн}$).

Расчет полной заработной платы руководителя:

$$C_{зп} = 37872,3 + 37872,3 \cdot 0,1 = 37872,3 + 3787,2 = 41659,5 \text{ руб.}$$

Расчет полной заработной платы инженера:

$$C_{зп} = 85066,8 + 85066,8 \cdot 0,1 = 85066,8 + 8506,7 = 93573,5 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 1993,3 \cdot 19 = 37872,3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 895,4 \cdot 95 = 85066,8 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где M – количество месяцев работы при отпуске в 48 раб. дн. $M = 10,4$ месяцев, 6-дневная неделя.; $Z_{окл}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{48107 \cdot 10,4}{251} = 1993,3 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{21611 \cdot 10,4}{251} = 895,4 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16.

Дополнительная заработная плата составляет 10 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 28.

Таблица 27 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во, раб. дн.	Основная заработная плата руб.
Руководитель	48107	1,3	62539,1	1993,3	19	37872,3
Инженер	21611	1,3	28094,3	895,4	95	85066,8
ИТОГО:						122939,1

Таблица 28 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб.	Дополнительная заработная плата руб.	Полной заработная плата, руб.
Инженер	0,1	85066,8	8506,7	93573,5
Руководитель	0,1	37872,3	3787,2	41659,5
ИТОГО:			12293,9	135233

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.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (122939,1 + 122393,9) = \\ = 36648,1 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) равный 27,1

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.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (122939,1 + 122393,9) = 108186,4,$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,7.

К прочим прямым затратам относится эл. энергия, потребляемая оборудованием и составляющая 5,8 руб. за кВт. Сюда входят: высоковольтные лабораторные стенд и установка, термощкаф, измеритель RLC. В течении 95 рабочих дней спецоборудования активно использовалось для исследования. За один рабочий день общая потребляемая мощность составляла от 5 до 10 кВт, в зависимости от проведения исследования. Возьмем усредненное значение мощности, равное 7,5 кВт, тогда прочие затраты будут равны:

$$\text{Прочие затраты} = 5,8 \cdot 7,5 \cdot 95 = 4132,5 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты проекта составляет 618993,04, которые приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Прочие прямые расходы	Итого плановая себестоимость
	64386,4	56889,5	122939,1	12293,9	36648,1	108186,4	4132,5	405475,9

Где специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ определяется как сумма амортизации на оборудование со стоимостью менее 40 тыс.руб:

$$20410,5 + 224 + 32290 + 850 + 3115 = 56889,5 \text{ руб.}$$

4.4.1 Формирование сметы научного исследования

Для формирования бюджета затрат проекта опираемся на рассчитанную величину затрат проекта. При составлении договора с заказчиком защищается

научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку необходимой продукции.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ, которая сведена в таблице 30.

Таблица 30 – Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	В % к итогу
Материальные затраты НТИ	64386,4	15,88
Затраты на специальное оборудование	56889,5	14,03
Затраты по основной заработной плате	122939,1	30,32
Затраты по дополнительной заработной плате	12293,9	3,03
Отчисления во внебюджетные фонды	36648,1	9,04
Накладные расходы	108186,4	26,68
Прочие прямые расходы	4132,5	1,02
Бюджет затрат	405475,9	100

4.4.2 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 36.

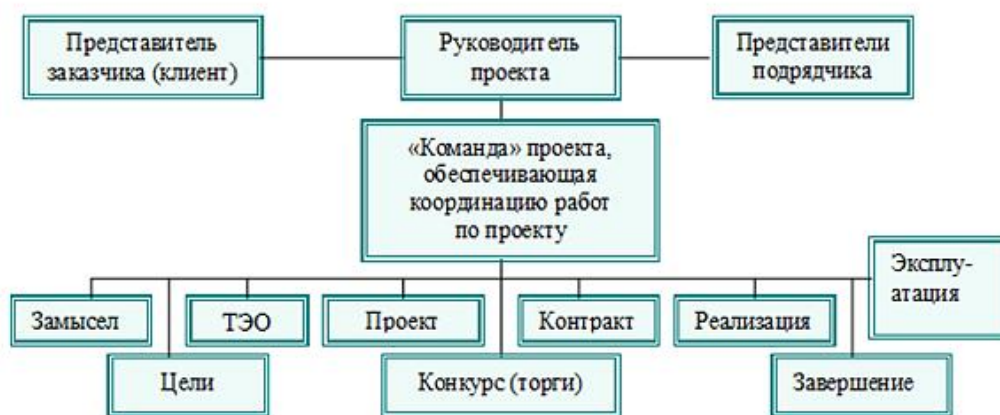


Рисунок 36 – Проектная структура проекта

4.4.3 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 31).

Таблица 31 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 32.

Таблица 32 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу

расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Стоимость комплектующих варианта исполнения методики испытаний изоляции 02МК равна 74319,5 руб. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 358519,5, включая бюджет затрат НТИ.

Стоимость варианта комплектующих варианта исполнения методики испытаний изоляции Армен ПП-6ЭК равна 76088,75 рублей. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 360288,75 рублей, включая бюджет затрат НТИ.

Стоимость варианта комплектующих варианта исполнения методики испытаний изоляции КПЭ 135нк равна 75330,65 рублей. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 359530,65 рублей, включая бюджет затрат НТИ.

$$I_{\Phi 1}^p = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{358519,5}{360288,75} = 0,995$$

$$I_{\Phi 2}^p = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{max}} = \frac{360288,75}{360288,75} = 1$$

$$I_{\Phi 3}^p = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{max}} = \frac{359530,65}{360288,75} = 0,998$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 33).

Таблица 33 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка методики 1	Балльная оценка методики 2	Балльная оценка методики 3
1. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	3
2. Надежность	0,25	4	4	5
3. Безопасность	0,15	5	4	5
4. Экономичность	0,15	5	4	4
5. Гибкость	0,25	5	5	4
6. Итого:	1,00	4,8	4,2	4,2

$$I_1^A = 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 = 4,8$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 = 4,2$$

$$I_3^A = 3 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 = 4,2$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{фин1}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi 1}^p} = \frac{4,8}{0,995} = 4,824;$$

$$I_{\text{фин2}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi 2}^p} = \frac{4,2}{1} = 4,2;$$

$$I_{\text{финр3}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} = \frac{4,2}{0,998} = 4,43.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{финр1}}^p}{I_{\text{финр2}}^a} = \frac{4,824}{4,2} = 1,148;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{I_{\text{финр1}}^p}{I_{\text{финр3}}^a} = \frac{4,824}{4,43} = 1,089;$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 34.

Таблица 34 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Методика испытаний 02МК	Методика испытаний Армлен ПП-6ЭК	Методика испытаний КПЭ 135нк
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,995	1	0,998
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,2	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	4,824	4,2	4,43
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,148	1,089

Заключение

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 405475,9 рублей;
- оценка ресурсоэффективности исследования, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,8 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

5 Социальная ответственность

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения нормативных условий труда при работе в 057 аудитории 8 корпуса НИ ТПУ с установкой для испытаний на электрический пробой в лабораторных условиях в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам экологической безопасности и обеспечении безопасности работников при возникновении ЧС. Данная установка разработана и эксплуатируется при выполнении практической части магистерской диссертации. Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям, в соответствии с законодательством Российской Федерации к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.04.2021) [6] работник аудитории 057, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

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

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда: сокращенная продолжительность рабочего времени, ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск, повышение оплаты труда, досрочное назначение трудовой пенсии. Класс условий труда, при работе на данной установке 1-2, то есть условия труда являются оптимальными, компенсации в данном случае не предусмотрены.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [7]. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600x1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол (стенд) должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 057, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [7].

5.2 Производственная безопасность

В разделе производственной безопасности с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке технологии или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 [8]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 35.

Таблица 35 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по испытаниям НПК

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
2. Отсутствие или недостаток естественного света	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи (до 30кВ)	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

Продолжение таблицы 35

5. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
6. Повышенный уровень электромагнитных полей.	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
7. Статическое электричество	ГОСТ ИЕС 61340-5-1-2019. Защита электронных устройств от электростатических явлений.

5.2.2 Микроклимат

Под микроклиматом понимают качество воздушной среды в рабочей зоне. Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока.

В соответствии с [8] показателями, характеризующими микроклимат являются:

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

Перечисленные показатели являются определяющими самочувствие рабочего персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [9] (таблица 36) необходимо поддерживать следующие оптимальные параметры климата, обеспечивающие наибольшую вероятность сохранения здоровья и наибольшую производительность труда.

Таблица 36 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Теплый	Средней тяжести	20-22	16-27	40-60	<70	0,3	0,2-0,5
Холодный	Средней тяжести	17-19	15-21	40-60	<75	0,2	<0,4

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с [9], следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СанПиН 1.2.3685-21 [10] установка центробежных вентиляторов;
- установка систем местных отсосов по [10] для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ от мест их образования и выделения;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;
- герметизация технологического оборудования.

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров используются системы вентиляции и отопления.

Для обеспечения оптимальных микроклиматических параметров и очистки воздуха в помещении применяют систему естественной вентиляции, но для обеспечения наиболее комфортных условий работы в весенне–летнее время года предлагается установка вентиляторов или системы кондиционирования.

Микроклиматические условия находится в допустимых пределах температуры в теплый сезон 16–27 С°, в холодный сезон 15–21 С°.

5.2.3 Освещение

Для всех лаборатории и учебные классы промышленных предприятий предусматривается использование естественного и искусственного освещения.

Освещенность рабочего стола должна быть не менее 300–500 лк, что может достигаться установкой местного освещения (светильников). Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Расположение светильников должно выбираться таким образом, чтобы яркость бликов на экране не превышала 40 кд/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [10].

Используются три вида освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

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

Широко применяемыми источниками искусственного освещения являются: лампы накаливания, газоразрядные низкого (люминесцентные) и высокого (ДРЛ) давления.

Системы общего освещения подразделяются на равномерные (светильники распределяются равномерно по площади освещения), локализованные (для освещения оборудования и рабочих мест), местные (освещение рабочей поверхности) и комбинированные.

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

Нормы освещённости определяются основными признаками зрительной работы: размер различаемого объекта; коэффициент отражения фона; контраст между объектом и фоном. На основе данных признаков разработаны требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [5]. Согласно им, в кабинете естественного освещения при комбинированном освещении составляет: КЕО=3%, а освещённость при комбинированном освещении от общего освещения должна составлять 200 Лк, а на рабочих местах – 750 Лк.

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

5.2.4 Электробезопасность

К опасным факторам можно отнести наличие в лаборатории большого количества оборудования, использующего однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности поражения электрическим током помещение 057, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°С, с влажностью 40-50%) [11].

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения электрическим током практически отсутствует, однако существуют аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека током может произойти в следующих случаях:

- при возникновении короткого замыкания в электроприборе;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование токоведущих частей, исключаящее возможное соприкосновение с ними;
- установки защитного заземления и зануления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- малое напряжение;
- соблюдение техники безопасности ГОСТ 12.0.004–2015;
- соблюдение мер безопасности в ходе выполнения задач;
- регулярный контроль за состоянием оборудования и организация необходимого планового ремонта и технического обслуживания.

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещается учебно-лабораторный стенд с осциллографом, рабочее место должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ [12]. Это основное техническое средство защиты. Так же для безопасности следует вывешивать специальные знаки и плакаты

Рассчитано защитное заземление для стенда, осциллографа и другого обслуживающего оборудования, которое находится в аудитории 057, 8 корпуса ТПУ [13]:

1. В качестве заземляющего устройства (вертикальные электроды) используем стальные трубы диаметром $d = 55$ мм, в качестве соединяющего элемента – стальная полоса шириной $b = 50$ мм.

2. Сопротивлению грунта в районе размещения установки или устройства.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Исходные данные для расчета

Вид заземления	контурное
Длина заземлителя l , м	2,7
Глубина заземлителя в грунте h , м	0,65
Сезонный коэффициент K_c	2,0
Удельное сопротивление земли ρ , Ом·м	70
Диаметр d , мм	55
Ширина соединительной полоски b , мм	50
Допустимое сопротивление системы заземления по ПУЭ $R_{з.у.}$, Ом	4
Уровень напряжения, В	220-380

Величина электрического сопротивления растекания тока в грунт с одиночного заземлителя:

$$R_3 = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 40,62 \text{ Ом,}$$

где $\rho = 70$ Ом – удельное сопротивление грунта;

$K_c = 2$ – коэффициент сезонности;

$l = 2,7$ м – длина заземлителя;

$d = 0,055$ м – диаметр заземлителя;

$t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2$ м – длина от поверхности земли до середины заземлителя.

4. Число заземлителей без взаимных помех, получаемых друг от друга, без так называемого явления «экранирования»:

$$n^{\wedge} = \frac{R_3}{R_{з.у.}} = \frac{40,62}{4} = 10,15 \approx 10$$

5. Число заземлителей с коэффициентом экранирования:

$$n = \frac{n^{\wedge}}{\eta_3} = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18$$

где $\eta_3 = 0,58$ – коэффициент экранирования [11].

Принимаем расстояние между заземлителями $a = l = 2,7$ м.

6. Длина соединительной полосы:

$$l_n = 1,05 \cdot n \cdot a = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51,03 \text{ м}$$

7. Значение сопротивления растекания тока с соединительной полосы:

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho K_c}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{b \cdot h} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51,03} \lg \frac{2 \cdot 51,03^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,2 \text{ Ом}$$

8. Полное сопротивление системы заземления:

$$R_{3y} = \frac{R_3 \cdot R_{II}}{R_3 \cdot \eta_n + R_{II} \cdot \eta_3 \cdot n} = \frac{40,62 \cdot 5,2}{40,62 \cdot 0,51 + 5,2 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,82 \text{ Ом,}$$

где $\eta_n = 0,51$ – коэффициент экранирования полосы [11].

Таким образом, сопротивление $R_{3y} = 2,82$ Ом не превышает 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя $d = 55$ мм при числе заземлителей $n = 18$ является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

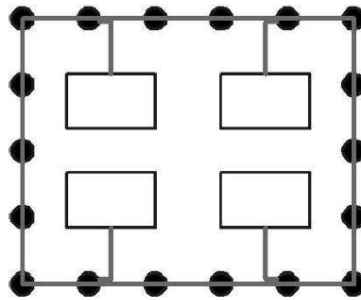


Рисунок 37 – схема полученного контурного заземления

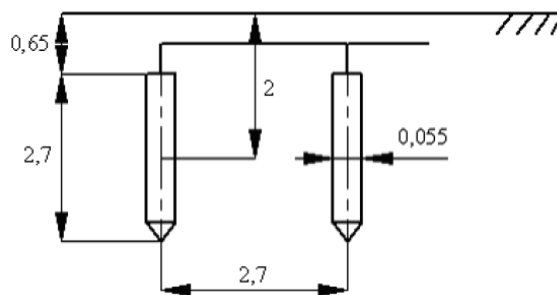


Рисунок 38 – схема расположения заземлителей

Разработанные мероприятия и расчеты обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в исследуемой аудитории.

5.2.5 Повышенный уровень электромагнитных полей

Основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов при разработке стенда для испытаний является электронно-вычислительная техника, поскольку есть возможность поражения электрическим током. Такое оборудование может привести к возникновению статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке согласно СанПиН 1.2.3685-21 [10].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в аудитории 057, 8 корпуса ТПУ, создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [10], представленных в таблице 38:

Таблица 38 – допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля	не регламентируется при < 20 кВ/м	15 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 057, 8 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 3 соответствуют нормам.

5.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

Рассматриваются влияния проектируемого решения и используемые для его создания вещества и материалы на селитебную зону, атмосферу, гидросферу и литосферу и предложить природоохранные мероприятия по обеспечению экологической безопасности.

5.3.1 Анализ влияния проектируемого решения на окружающую среду

Защита селитебной зоны. Электромагнитные поля частотой 50 Гц, создаваемых высоковольтной установкой напряжением до 30 кВ оказывают влияние на селитебную территорию. На обеспечение электромагнитной безопасности человека при эксплуатации данного объекта кроме документов санитарного законодательства направлены требования ряда государственных стандартов. Согласно ГОСТ Р 12.1.009–2017 электромагнитная безопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и животных от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, ЭМП и статического электричества [14]. С целью обеспечения защиты селитебной зоны и минимизации влияния повышенной электрической напряженности для близлежащей местности, высоковольтные испытания проводились кратковременно (не более 5 минут одно испытание).

Защита литосферы. Работа в лаборатории сопряжена с образованием твердых отходов. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пробитые макетные образцы); отработанные люминесцентные лампы; комплектующие и запчасти,

утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 [15]. Бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование и макетные образцы передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Защита гидросферы. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртуть содержащих ламп. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28.12.2020 №2314 [16]. Твердые отходы также негативно воздействуют на гидросферу и подлежат утилизации согласно ГОСТ Р 53692-2009 [15].

Защита атмосферы.

Для предотвращения электромагнитного загрязнения атмосферы путем эксплуатации высоковольтной установки необходимо по завершению испытаний выключать установку.

При выполнении ВКР никакого ущерба окружающей среде не было нанесено.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возникновение ЧС обусловлено возникновением пожара, под которым понимается вышедший из под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием высоковольтной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

Причинами возгорания при работе со стендом могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- небрежность работника при работе со стендом;
- воспламенение стенда из-за перегрузки.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности ГОСТ Р 22.0.01-2016 [17].

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

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

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

План эвакуации при возникновении пожара в 057 аудитории 8 корпуса НИТПУ представлен на рисунке 39.

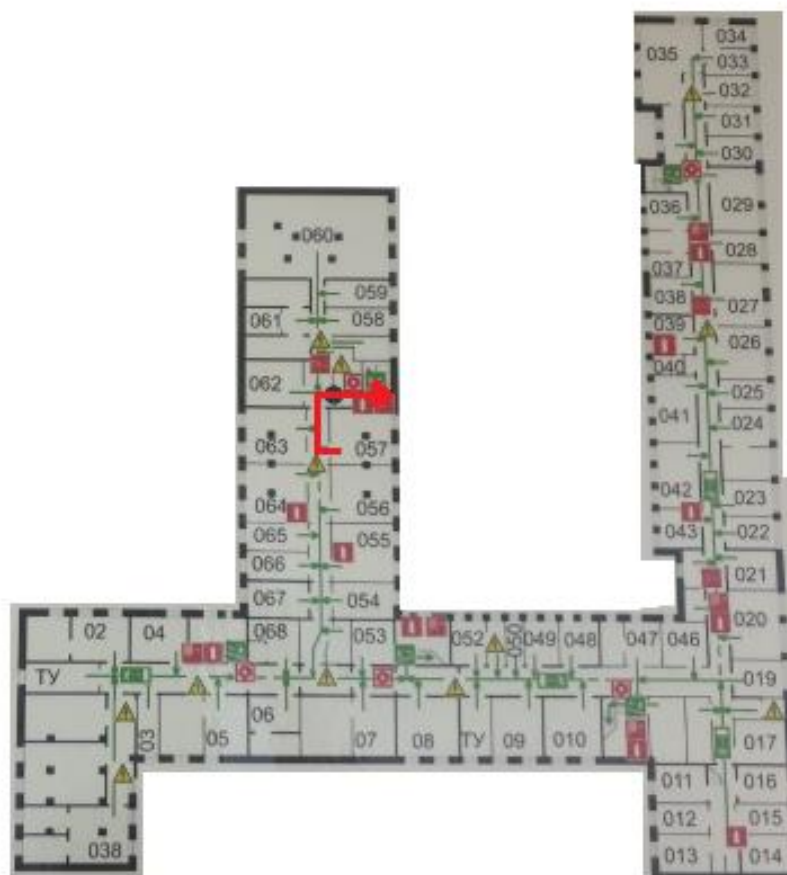


Рисунок 39 – План эвакуации при возникновении пожара в 057 аудитории 8 корпуса НИТПУ

Вывод

В данном разделе были рассмотрены вопросы, которые обуславливают социальную ответственность работника НИ ТПУ, проводящего испытания на высоковольтной установке и организации перед окружающей средой и природой.

Выявленные опасные и вредные факторы, влияющие на окружающую среду и человека такие как: статическое электричество, поражение электрическим током, отклонение показателей микроклимата, недостаток освещения. Каждый фактор нормируется согласно требованиям ГОСТ и СНиП, в которых описываются все аварийные и вредные для человека ситуации, возникающие при работе, и соответствуют фактическим значениям выявленных факторов нормативным значениям.

Согласно ПУЭ [11] по электробезопасности помещение 057, 8 корпуса ТПУ относится к 1 классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°C, с влажностью 40-50%).

Согласно по «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» [18] группа персонала по электробезопасности относится к 3 группе. Владелец третьей группы, т.е. научный руководитель, инструктирует студента, и ведет надзор за работами в высоковольтной установке, т.е. выступает в качестве административно-технического персонала.

Согласно по СанПиН 1.2.3685-21 [10] категория тяжести труда относится к 1б, т.к. физические работы выполняются с низкой интенсивностью энергозатрат, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением

Согласно СП 12.13130.2009 [19] категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Г, т.к. макетные образцы за счет подачи высокого напряжения нагреваются до горячего состояния, после чего производится выделение лучистого тепла.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» [20], категория объекта относится к IV категории, т.к. высоковольтная установка используется исключительно для испытаний кабельных изделий.

Так же были рассмотрены чрезвычайные ситуации, которые могут возникать при работе на установке, что следует предпринять для профилактики пожара и порядок действий при его возникновении.

Заключение

При выполнении магистерской диссертации был приведен литературный обзор, в котором рассмотрены назначение, условия эксплуатации и номенклатура нефтепогружных кабелей, а также метод испытаний на электрическую прочность.

В методической части представлены методики определения пробивного напряжения изоляции НПК при механических и электротепловых нагрузках, методика определения пробивного напряжения для фторированной изоляции и методика определения электрофизических свойств фторированной изоляции.

В экспериментальной части изучен объект исследования. Определено пробивное напряжение изоляции при деформации. Проведены высоковольтные испытания при повышенной температуре. Определено пробивное напряжение фторированных образцов. Проведены измерения электрофизических параметров фторированной изоляции, а также произведена оценка влияния испытательного напряжения на пробивное напряжение фторированных образцов и высокой температуры на электрофизические характеристики.

В разделе финансовый менеджмент проведен анализ сильных и слабых сторон научно-технического проекта. Уставлены сроки проведения работ, построен график проведения научных исследований. Рассчитаны затраты, заработная плата участников научно-исследовательского проекта.

В разделе социальная ответственность произведена оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов. Рассмотрены вопросы техники безопасности, пожарной профилактики, охраны окружающей среды, защиты в ЧС при работе электротехнического персонала.

Список использованных источников

1. Макиенко Г.П. Кабели и провода, применяемые в нефтегазовой индустрии. Пермь: Агенство «Стиль-МГ» 2004, 560с.
2. ГОСТ Р 51777-2001. Кабели для установок погружных электронасосов. Общие технические условия. М: Издательство стандартов, 2001.-17с.
3. Агеев Ш.Р., Григорян Е.Е., Макиенко Г.П. Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение. Энциклопедический справочник. Пермь: ООО «Пресс-Мастер», 2007, 645с.
4. ГОСТ 21414-76. Материалы диэлектрические. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2005
5. Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И. Физика диэлектриков. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 244 с.
6. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.04.2021)
7. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
8. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
10. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
11. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Седьмое издание, 2002 г.
12. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

13. Дашковский А.Г. Расчет устройства защитного заземления. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Электробезопасность» для студентов всех специальностей ЭЛТИ. Томск, изд. ТПУ, 2010. – 8 с.

14. ГОСТ Р 12.1.009-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.

15. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами.

16. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.12.2020 № 2314. «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде»

17. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

18. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

19. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

20. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий»

Приложение А

(справочное)

Foreign sources
**“RESEARCH ON THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF THE
INSULATION OF CABLE PRODUCTS”**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM08	Антюфьева Екатерина Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	Кандидат технических наук		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егорова Юлия Ивановна	Кандидат технических наук		

Introduction

Currently, oil-submersible cables are one of the most common types of power cables. They are designed to power electric motors, centrifugal pumps for lifting oil. During operation, their insulation is subjected to mechanical stress, electrical load, pressure, reservoir fluid and ambient temperature.

Long-term oil submersible cables lose the quality of their insulation over time, which leads to a deterioration in the electrical properties and its breakdown. Of course, modern insulating materials are more durable than those used in the past, but in many cases oil-submersible cables have not been changed for a long time, and the problem of deterioration of insulation properties remains such.

1. Nomenclature of oil-submersible cables and their properties

The oil-submersible cables are used to drive the motors of submersible pumps, which are used to pump out oil when drilling wells. Due to the specifics of operation (because these cables operate immersed in a downhole fluid consisting of a mixture of water, gas and oil), it is necessary to equip the oil-submersible cables with special insulation, sheath and armor, as well as perform a special construction.

A description of the types of materials used and the design for the oil-submersible cables is presented in table A.1. [1]

Table A.1. Classification of oil-submersible cables

Insulation material	<p>П – HDPE; Пв – Vulcanized HDPE; Пт – Polymeric heat-resistant composition; Пп – Polypropylene, copolymers and PP block copolymers composition; Пс – Radiation modified PE; И – Polyimide-fluoroplastic film; Ф – Fluorine-containing copolymer; Э – HEPR; л – Lacquer (enamel) insulation; Т – Thermoplastic elastomeric block copolymers.</p>
Sheath material	<p>О – Common shell; Н – Rubber based on nitrile rubber; С – Lead and its alloys; Ф – Fluorine-containing copolymer;</p>
Tape bandage	<p>Л – Fluoroplastic band; Лп – Polyethylene terephthalate tape</p>
Bedding	No designation – Wrapping (non-woven) or braiding;
Armour material	<p>Б – Zinc-coated steel wire Бк or Бнк – Corrosion-resistant steel tape; Блк – Steel tape with corrosion-resistant brass coating</p>
Construction	<p>К – Round cable; П – Flat cable</p>

Note. According to GOST R 51651, for insulation and sheaths it is allowed to use other materials with the designation of the corresponding letter (combination of letters), as well as the use of other metal tapes with the designation in the form of a combination of an uppercase letter Б and a lowercase letter indicating the material of the tape [2].

Rated AC voltage frequency 50 Hz oil-submersible cables must be:

2.5 kV – for cables with main conductors with a cross section of 6 mm²;

3.3; 4.0; 5.0 kV – for cables with main conductors of other sections.

The long-term permissible heating temperature of cable conductors is determined depending on the type of insulation and sheath material used (table A.2.). [1].

Table A.2. Values of heating temperatures of the electrical conductor from the material used

Long-term permissible heating temperature of cable cores, °C, no more	Insulation and sheath material
90	HDPE insulation
100	Polypropylene composition insulation
110	Thermoplastic elastomeric block copolymers insulation
120	Insulation made of Vulcanized HDPE, copolymers and PP block copolymers composition
130	Sheath based on ubber based on nitrile rubber
150	Radiation modified PE insulation
160	Fluorine-containing copolymer; insulation
200	Polyimide-fluoroplastic insulation and sheath based on HEPR, as well as sheaths made of lead and its alloys
230	HEPR insulation, as well as polyimide-fluoroplastic film

In cases where the insulation and sheath are made of several layers of dissimilar materials, then the long-term permissible heating temperature of the conductor is set according to a material with a lower heat resistance.

The number of main cores in the oil-submersible cables is three; their nominal cross section is selected from row 6; 8; 10; 13.3; 16; 21.15; 25, 35 and 50 mm².

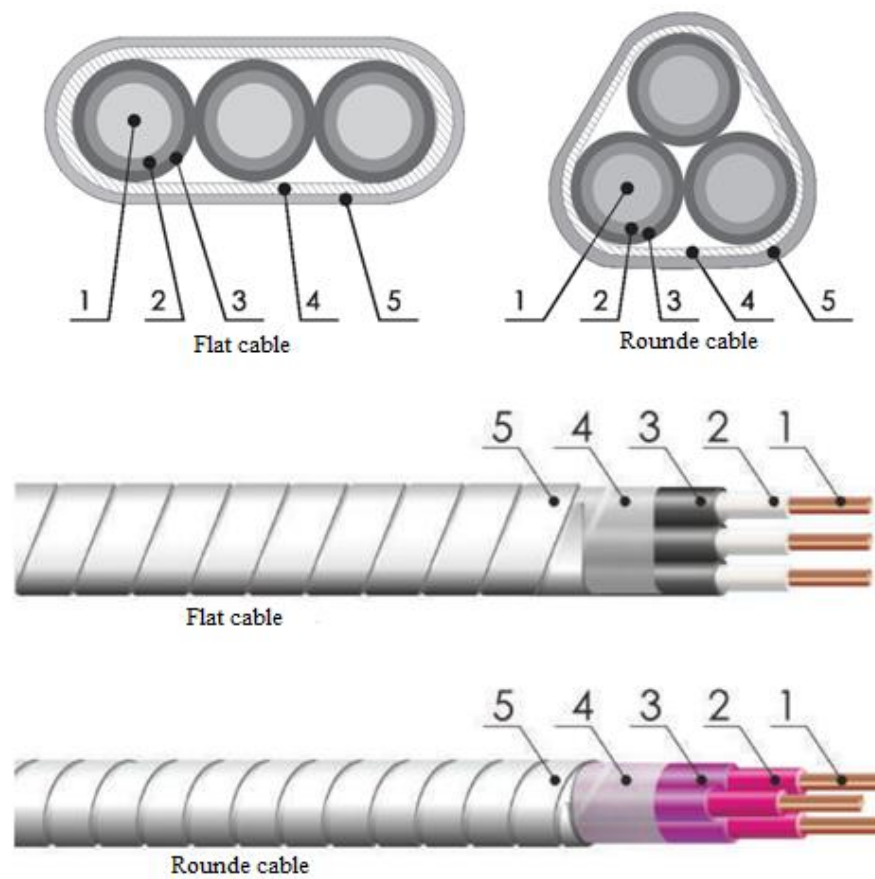


Figure A.1. Schematic drawings of the cross-section of cables and the form of structural elements: 1) conductor; 2) the first layer of insulation; 3) the second layer of insulation; 4) bedding; 5) armour

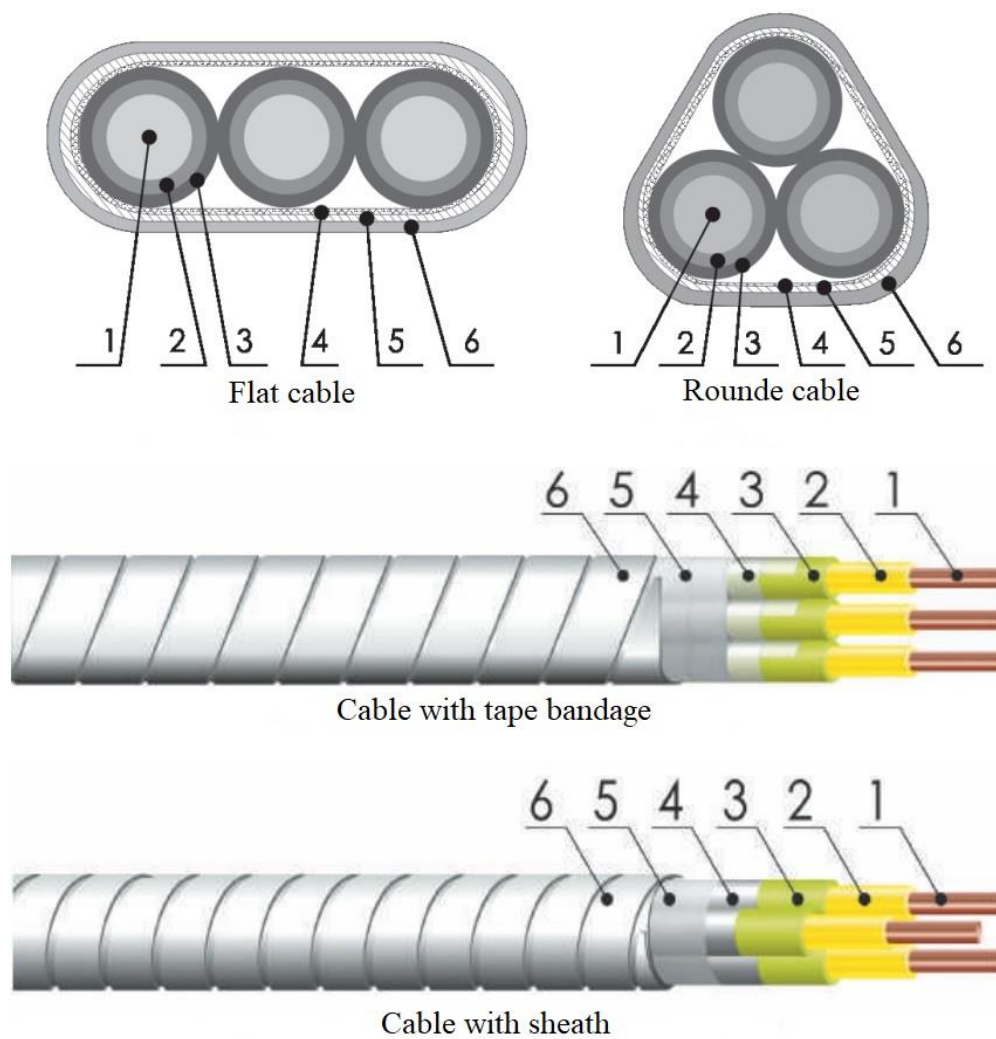


Figure A.2. Schematic drawings of the cross-section of cables and the form of structural elements: 1) conductor; 2) the first layer of insulation; 3) the second layer of insulation; 4) bedding; 5) tape bandage or sheath; 6) armour

Table A.3. shows cable brands manufactured in the Russian Federation

Table A.3. Brands of oil submersible cables

Type of cable	Normative documents	Number of conductors	Nominal cross-section of conductors, mm ²	Rated voltage, kV	Climatic performance	Permissible temperature range
КПБП-90 КПБкП-90 КПБК-90 КПБкК-90	ТС 16-505.129-2002; GOST R 51777-2001	3	10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35	3,3	Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to	From -35°C to +90°C; in a static state from -60°C to +90°C; long-term permissible

					GOST 15150-69, and for operation in well fluid	heating temperature of cable cores +90°C.
КПпБП-120 КПпБкП-120 КПпБК-120 КПпБкК-120	ТС 16.К71-293-2002; GOST R 51777-2001	3	10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35	3,3	Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to GOST 15150-69, and for operation in well fluid	From -30°C to +120°C; in a static state from -60°C to +120°C; long-term permissible heating temperature of the cable cores + 120 CC.
КПсПБП-120 КПсПБкП-120 КПсПБК-120 КПсПБкК-120 КПсПБнкП-120 КПсПБнкК-120	ТС 16.К13-012-2002; GOST R 51777-2001	3	10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35	3,3; 4,0; 5,0 frequency 50-70Hz	Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to GOST 15150-69, and for operation in well fluid	From -40°C to +120°C; in a static state from -60°C to +120°C; long-term permissible heating temperature of cable cores is +120°C.
КПсПпБП-120 КПсПпБкП-120 КПсПпБК-120 КПсПпБкК-120 КПсПпБнкП-120 КПсПпБнкК-120	ТС 16.К13-012-2002; GOST R 51777-2001	3	10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35	3,3; 4,0; 5,0 frequency 50-70Hz	Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to GOST 15150-69, and for operation in well fluid	From -40°C to +120°C; in a static state from -60°C to +120°C; long-term permissible heating temperature of the cable cores + 120 CC.
КПсПпБП-130 КПсПпБкП-130	ТС 16.К13-012-2002; GOST R 51777-2001	3	10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35	3,3; 4,0; 5,0 frequency 50-70Hz	Cold temperate climate; placement	From -40°C to +130°C; in a static state from -

<p>КПсПпБК-130 КПсПпБкК-130 КПсПпБнкП-130 КПсПпБнкК-130</p>					category 1 and 5 according to GOST 15150-69, and for operation in well fluid	60°C to +130°C; long-term permissible heating temperature of cable cores up to +130°C.
<p>КПсПБП-130 КПсПБкП-130 КПсПБК-130 КПсПБкК-130 КПсПБнкП-130 КПсПБнкК-130</p>	<p>ТС 16.К13-012-2002; GOST R 51777-2001</p>	3	<p>10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3; 4,0; 5.0 frequency 50-70Hz</p>	<p>Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to GOST 15150-69, for operation in well fluid</p>	<p>From -40°C to +130°C; in a static state; from -60°C to +130°C; long-term permissible heating temperature of cable cores up to +130°C.</p>
<p>КПсТБП-150 КПсТБкП-150 КПсТБК-150 КПсТБкК-150 КПсТБнкП-150 КПсТБнкК-150</p>	<p>ТС 16.К13-034-2012; GOST R 51777-2001</p>	3	<p>10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3; 4,0; 5.0 frequency 50-70Hz</p>	<p>Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to GOST 15150-69, for operation in well fluid</p>	<p>From -DOC to +150°C; in a static state; from -60°C to +150°C; long-term permissible heating temperature of cable cores up to +150°C.</p>
<p>КПсТБП-160 КПсТБкП-160 КПсТБК-160 КПсТБкК-160 КПсТБнкП-160 КПсТБнкК-160</p>	<p>ТС 16.К13-036-2010; GOST R 51777-2001</p>	3	<p>10; 13,3; 16; 21,15; 25; 35</p>	<p>3,3; 4,0; 5.0 frequency 50-70Hz</p>	<p>Cold temperate climate; placement category 1 and 5 according to GOST 15150-69, for operation in well fluid</p>	<p>From -40°C to +160°C; in a static state: from -60°C to +160°C; long-term permissible heating temperature of cable cores up to +160°C.</p>

2. Operating conditions and oil-submersible cables requirements

Oil-submersible cables operation takes place in very harsh conditions: high temperatures, exposure to high hydrostatic pressure, aggressive formation fluid environment, mechanical loads, etc. Depending on the region of production, the temperature drop and the composition of the formation fluid can differ significantly.

At present, the bulk of all oil production in Russia is produced mechanically using electric centrifugal pumps (ESP).

An electric centrifugal pumping unit is a set of equipment for the mechanized extraction of fluid through wells using a centrifugal pump directly connected to a submersible electric motor.

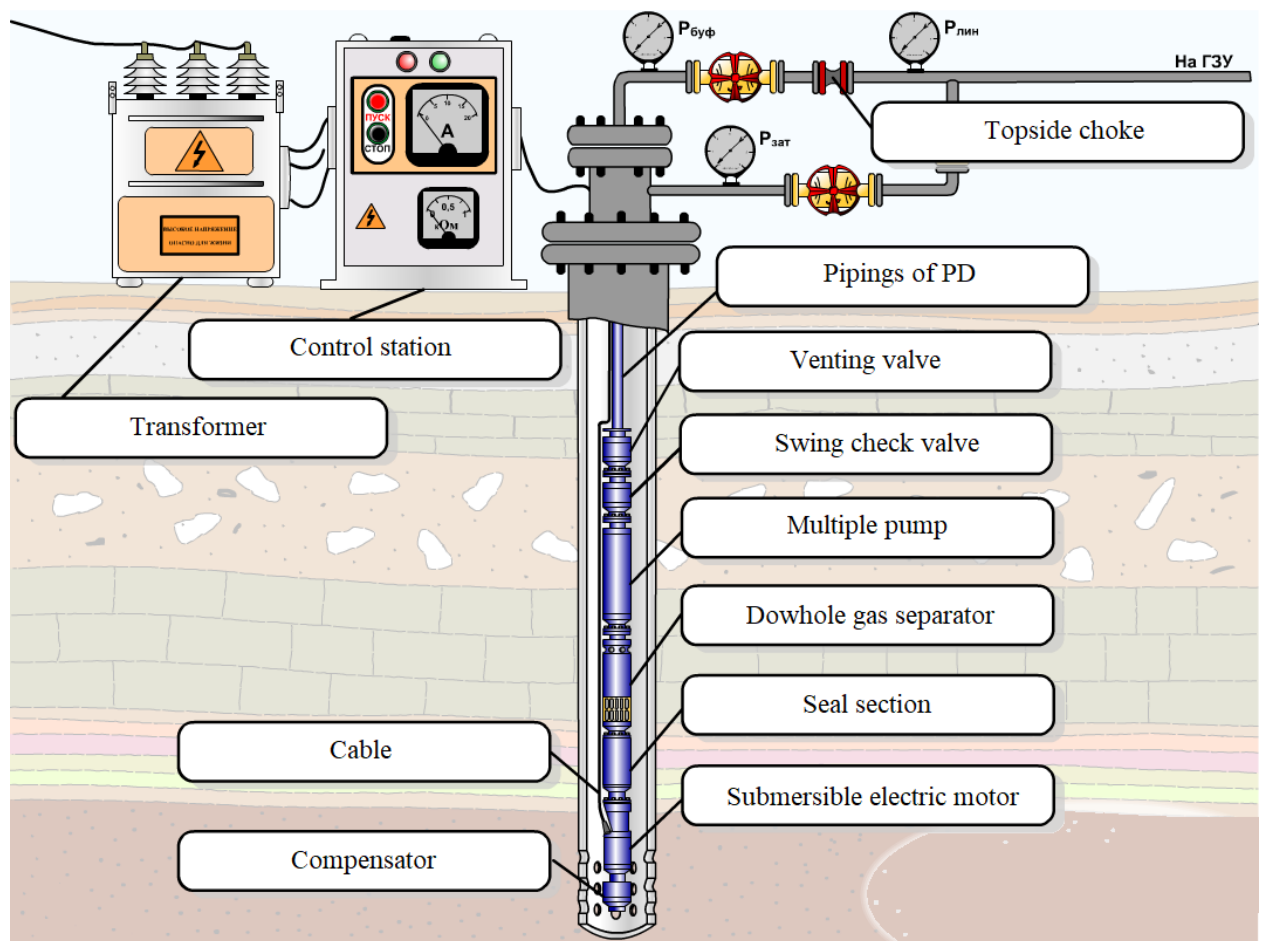


Figure A.3. Installation of an electric centrifugal pump

During operation, oil-submersible cables are practically not subjected to tensile loads, but they are subject to significant bending, torsional loads, as well as the effect of friction forces when the system is raised and lowered into the well.

Cables are constantly exposed to the pressure and temperature of the environment, the influence of which is determined by its composition, as well as the composition of the gases dissolved in it (the highest concentration of hydrogen sulfide). Thus, under the influence of the thermobaric factor, the insulation swells, the electromechanical characteristics change, and the mechanical loads when lifting and lowering the cable also have a great influence. All these factors lead to a reduction in cable resources.

Cable operating conditions are extremely harsh:

- complex effect of elevated temperature;
- high hydrostatic pressure;
- aggressive operating environment;
- mechanical influences;
- high GOR of the downhole fluid;
- differential pressure and temperature along the length of the cable line

during operation.

During the operation of cable lines for submersible electric pumps, the upper end of the cable is on the surface of the earth, while there is a significant difference between the temperature on the surface of the earth and the temperature of the well environment. It is also necessary to take into account the temperature rise of the cable line due to the heat generated by the electric motor and the pump. Under normal conditions, the temperature difference in the well can reach 20 °C, in emergency conditions from 40-50 °C and above, oil is shed, which leads to insulation melting, and as a result, to a short circuit between the veins [3].

All the noted factors lead to aging of the insulation and failure of the cable line. Therefore, the main task in modern developments of oil-submersible cables is the use of new materials that will improve the characteristics of cable lines for ESP installations.

2.1. Insulation depreciation of oil-submersible cables

Thermal deterioration. At operating temperatures, chemical reactions occur or sharply accelerate in the insulation material, which change the structure of the materials and cause deterioration of the properties of the entire insulation as a whole. These processes are called thermal aging. Solid dielectric materials in the process of thermal deterioration gradually reduce their mechanical strength, which leads to damage to the insulation under the action of mechanical loads and then to breakdown. Among the various factors that determine the service life of oil-submersible cables insulation, one of the main ones is the aging of the insulation under the influence of temperature. This phenomenon lends itself better than others to quantitative accounting, and therefore has been studied in comparative detail.

Electrical ageing. During operation, the insulation of oil-submersible cables is under operating voltage for a long time. Electrical ageing occurs very slowly in new and high-quality insulation, sufficiently dense and monolithic. It gradually accelerates with the development of general destruction caused by various reasons (thermal, mechanical, electrical, etc.), accompanied by delamination and loosening of the insulation, the formation of pores, voids (air or gas layers), cracks in it. There are various microdefects in varying degrees in the new insulation, but as it ages, their number and size increase significantly. With the appearance of such inhomogeneities in insulation, ionization processes develop, accompanied by its progressive destruction. Ions accelerating in an electric field bombard the surface of the insulating layers. Partial discharges occur in insulation voids, especially during overvoltages, destroying individual layers of insulation due to the thermal effect and mechanical splitting.

Electrothermal ageing. Under electrothermal loads, the ageing process proceeds much faster, because an increase in temperature leads to an increase in the amplitude of thermal oscillations, as a result of which the potential barrier decreases and a weakly bound ion breaks out, thereby increasing the concentration of charge carriers and current density.

3. Methods of control and breakdown test.

3.1. Determination of breakdown voltage and dielectric breakdown strength

Breakdown voltage (electric strength). Electrical insulation cannot withstand an infinitely high voltage applied to it. Sooner or later, when the voltage rises, insulation breakdown will occur, while the leakage current will increase enormously, and the insulation resistance will decrease.

According to GOST 21515-76, breakdown is the formation of a conducting channel in a dielectric under the action of an electric field [4].

The minimum electrical voltage applied to a dielectric that results in breakdown is called breakdown voltage. To compare the properties of different materials, it is more convenient to use the breakdown strength. U_{bd}

Breakdown strength is the strength of the electric field, upon reaching which a breakdown occurs.

Electrical breakdown is the direct destruction of the dielectric structure by the action of electric field forces on electrically charged particles in the dielectric. This type of breakdown, as a rule, is observed when the possibility of thermal breakdown and the short duration of the applied voltage are eliminated. The development of electrical breakdown occurs almost instantly [5].

Breakdown strength depends on many factors, including insulation parameters. We can say that E_{bd} effectively reflects the state and ability of the insulation to withstand loads, since a change in any parameters of the insulation will accordingly affect its electrical strength. Based on this, using $E_{bd}(U_{bd})$ it is possible to give a qualitative assessment of the state of electrical insulation.

Electrothermal breakdown is caused by an increase in the temperature of the dielectric due to an increase in dielectric losses or through conductivity. Usually, only individual sections of the dielectric are heated, which have an increased value of $\text{tg}\delta$ or underestimated value of insulation resistance due to local inhomogeneities. The electrothermal breakdown of the material is accompanied by charring of the channel formed during the breakdown. The value of breakdown strength during

electrothermal breakdown depends not only on the material, but also on the current frequency, cooling conditions, ambient temperature, heat capacity of the material, etc.

Electrothermal breakdown is observed during the development of thermal breakdown and, as a rule, prolonged exposure to an applied voltage [5].

3.2. Breakdown tests

The insulated main conductors and finished cables shall withstand the DC voltage test for at least 5 minutes. Test voltage values and leakage current measured at the end of the voltage test and converted to a length of 1 km and a temperature of 20°C, should correspond to the values given in table A.4.

Table A.4. Values of test voltage and leakage current

Rated voltage, kV	Test voltage, kV	Insulation leakage current at test voltage, mA, not more, for cables	
		with plastic and thermoplastic insulation	With rubber insulation
2,5	14,5	10	50
3,3	18,0		
4,0	20,0		
5,0	20,0		

The determination of the cable insulation leakage current is carried out on a piece of cable or an insulated core wound on a drum with a length of at least 50 m. The drum with the sample is placed in a container with water so that the water completely covers the samples; at the same time, both separated ends of the cable must be taken out of the water for a length of at least 1 hour. It is allowed to test cable samples in air without immersion in water. The electrical resistance of the cable insulation is measured, which, when converted to a length of 1 km and a temperature of 20 °C must be at least the above values. The cable is tested with constant voltage, the values of which are indicated in table A.4., for 5 minutes.

Not earlier than 5 minutes after the voltage test, the actual value of the leakage current of the insulation of the sample is determined from the readings of the microammeter, which, when it crosses a length of 1 km and the temperature

20 °C should not exceed the values specified in table A.4. For a cable sample, the insulation leakage current is determined separately for each core. The measured value of the leakage current is converted to a length of 1 km and temperature 20 °C according to the formula:

$$I_l = \frac{I_{mea}}{k \cdot L},$$

where I_l – leakage current, calculated for a length of 1 km and temperature 20 °C, A; I_{mea} – measured value of leakage current, A; k – coefficient for bringing the electrical resistance of the insulation to a temperature of 20, indicated in the technical specifications for a cable of a particular brand; L – is the length of the sample on the drum, km [1].

Conclusion

Thus, the breakdown strength depends on many factors, including the electrical, mechanical, and physicochemical parameters of the insulation. Therefore, breakdown tests are the most reliable type of test, on the basis of which the final conclusion is made about the possibility of continuing normal operation, repair or complete replacement of oil-submersible cables.

A decrease in the breakdown strength of the cable leads to a decrease in the electrophysical characteristics. The insulation resistance tends to zero, and the dielectric loss-angle tangent increases.

References

1. GOST R 51777-2001. Cable for installations of oil-submersible electric pumps. Technical requirement. M: Standards publishing house, 2001. – 17 p.
2. Makienko G.P. Cables and wires used in the oil and gas industry. Perm: Agency «Style-MG» 2004, 560 p.
3. Ageev, Grigoryan, Makiyenko. Russian pump installations for oil production. Encyclopedic reference book. Perm: «Press-master», 2007, 645 p.
4. GOST 21515-76. Dielectric materials. Terms and Definitions. M.: Standartinform, 2005. – 14 p.
5. Vorobyov G.A., Pokholkov Yu.P., Korolev Yu.D., Merkulov V.I. Physics of dielectrics. Tutorial. - Tomsk: TPU Publishing House, 2003. – 244 p.