

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Исследование влияния эксплуатационных факторов на изоляцию нефтепогружных кабелей</b>

УДК 621.315.616.9:622.276.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5В	Сергеев Денис Юрьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Усачева Татьяна Владимировна	к.т.н., доцент		

Консультант

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева Полина Васильевна	к.т.н., доцент		

## Результаты обучения по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно - научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

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

Школа ИШЭ

Направление подготовки (специальность) 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Тютеева П. В.  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5В	Сергееву Денису Юрьевичу

Тема работы:

Исследование влияния эксплуатационных факторов на изоляцию нефтепогружных кабелей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.12.2018 №11327/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>Объектом исследования является нефтепогружной кабель КПпБП - 125</p>
---	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Литературный обзор; 2. Методическая часть; 3. Обсуждение результатов; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 5. Социальная ответственность; 6. Заключение
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Кандидат экономических наук Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
<b>Социальная ответственность</b>	Сотникова Анна Александровна

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Матери Татьяна Михайловна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г5В	Сергеев Денис Юрьевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г5В	Сергеев Денис Юрьевич

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Направление</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов технического проекта: заработные платы, накладные расходы</i>	Оклады в соответствии с положением об оплате сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека) Накладные расходы определяются на основании сметы расходов по проектам ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Страховые отчисления: 30%

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений</i>	SWOT-анализ и определение ресурсной эффективности
2. <i>Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	Составление работ и оценка времени их выполнения, Диаграмма Ганта
3. <i>Формирование сметы</i>	Группировка затрат по статьям: • материальные затраты; • затраты на заработанную плату; • отчисление во внебюджетные фонды; • накладные расходы.

**Перечень графического материала**

1. *Матрица SWOT*
2. *График проведения технического проекта*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	14.02.2019
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		14.02.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г5В	Сергеев Денис Юрьевич		14.02.2019

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5В	Сергееву Денису Юрьевичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР: Исследование влияния эксплуатационных факторов на изоляцию нефтепогружных кабелей

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

1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования является влияние эксплуатационных факторов на изоляцию нефтепогружных кабелей
--	---

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

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны оператора.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Анализ выявленных вредных факторов: -Шум -Вибрации -Освещенность -Микроклимат Анализ выявленных опасных факторов: -Возможность поражения электрическим током -Возникновение пожара
3. Экологическая безопасность:	- Воздействие на атмосферу (выбросы); - Воздействие на гидросферу (сбросы); - Воздействие на литосферу (отходы)
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5В	Сергеев Денис Юрьевич		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа объемом 62 страницы, содержит 8 рисунков, 15 таблиц, 8 использованных источников, 1 приложение.

Перечень ключевых слов: изоляция, блок-сополимер пропилена с этиленом, агрессивная среда, сопротивление изоляции, эксплуатационные факторы, температура.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является нефтепогружной кабель марки КППБП - 125 с изоляцией из блок-сополимера пропилена с этиленом.

Цель работы: Исследование влияния повышенных температур на изоляцию НПК.

В процессе исследования был проведен литературный обзор по данной тематике. В работе были изучены следующие вопросы: назначение нефтепогружных кабелей, влияние эксплуатационных факторов на изоляцию, основные материалы, применяемые в конструкции НПК. Кроме этого, подобрано оборудование и методика измерения сопротивления изоляции при повышенных температурах, а также методика оценки результатов исследования.

В результате проделанной работы была получена зависимость электрического сопротивления изоляции от температуры. По полученным данным были сделаны выводы о влиянии повышенных температур на сопротивление, и использовании материала в производстве нефтепогружных кабелей.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007

## **Обозначения и сокращения**

УЭЦН – установка электрического центробежного насоса

НПК – нефтепогружной кабель

ТПЖ – токопроводящая жила

ТЭП – термоэластопласт

КИ – кабельные изделия

БСЭП – блок-сополимер пропилена с этиленом



## Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы .....	12
1.1 Нефтепогружные кабели: назначение, область применения .....	12
1.2 Основные конструктивные элементы .....	14
1.3 Электроизоляционные материалы, применяемые в нефтепогружных кабелях .....	16
1.4 Влияние повышенных температур на изменение свойств изоляции .....	19
1.5 Влияние эксплуатационных факторов на НПК.....	22
2. Методическая часть .....	27
2.1 Объект испытаний .....	27
2.2 Оборудование и методика испытаний для проведения испытаний .....	28
2.3 Методика обработки результатов испытаний .....	29
3. Обсуждение результатов эксперимента .....	30
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	33
4.1 SWOT-анализ исследования влияния повышенной температуры на изоляцию нефтепогружных кабелей.....	33
4.2 Планирование и формирование графика работ в рамках технического проекта .....	36
4.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования .....	36
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП .....	37
4.2.3 Разработка графика проведения технического проекта .....	37
4.3 Составление сметы затрат на разработку технического проекта .....	40
4.3.1 Расчет материальных затрат .....	40
4.3.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы .....	41
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	43
4.3.4 Накладные расходы .....	43
4.4 Формирование сметы проекта .....	44
4.5 Определение ресурсоэффективности проекта .....	44
5. Социальная ответственность .....	47
Введение.....	47
5.1 Правовые и организационные вопросы безопасности.....	48

5.2 Производственная безопасность .....	49
5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов.....	51
5.2.2 Мероприятия по снижению воздействия вредных и опасных факторов .....	54
5.3 Экологическая безопасность.....	56
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	57
5.5 Заключение по разделу .....	58
Заключение .....	60
Список использованных источников .....	61
Приложение А .....	62

## **Введение**

Современная добыча нефти связана с эксплуатацией нефтескважин с агрессивными условиями многофакторного эксплуатационного воздействия (температура, давление и т.д.). Изучение существующих конструкций нефтепогружных кабелей, дает нам существенное представление о необходимости в кабелях способных выдерживать чрезвычайно жесткие условия агрессивной среды и способных работать при высоких температурах.

В настоящее время в нефтегазовой промышленности имеется устойчивый спрос на кабели для погружных электронасосов, так как сейчас в основном эксплуатируются НПК зарубежного производства, что влечет за собой крупные материальные затраты.

Надежность нефтепогружных кабелей (НПК) для питания погружных насосов, во многом определяет бесперебойную добычу нефти. Применение НПК с изоляцией из блок-сополимера пропилена с этиленом в условиях с высокой температурой сопровождается набуханиями, трещинами и вмятинами на поверхности изоляции, что приводит к снижению срока службы.

На сегодняшний день недостаточно информации об устойчивости блок-сополимера этилена с пропиленом к воздействию повышенных температур в реальных условиях эксплуатации, поэтому любые исследования по данной теме являются новыми и ценными в практическом плане.

## **1. Обзор литературы**

### **1.1 Нефтепогружные кабели: назначение, область применения**

До 1950 г. для добычи нефти из скважин применялись штанговые насосы, имеющие малую производительность, и дорогостоящее наземное оборудование. В связи с появлением высокопроизводительных установок электроприводного центробежного насоса для добычи нефти появилось необходимость в специальных кабелях для питания погружных электродвигателей. С начала 50-х годов при добычи нефти с использованием этих установок, входящих в состав УЭЦН, применялись различные виды кабелей, которые в основном отличаются материалами изоляции.

Кабельная линия для установки электрического центробежного насоса (УЭЦН) является элементом установки ЭЦН для производства нефти, которая постоянно связано со всеми типами оборудования, из которого установка собирается в будущем, и находится на скважине.

В настоящее время нефтепогружные кабели предназначены для обеспечения электропитания погружных электродвигателей, которые используются для добычи нефти. Из-за того, что запасы нефти на поверхности Земли постепенно истощаются, ее добыча производится на еще большей глубине, чем ранее. Исходя из данной проблемы, нефтепогружные кабели должны обладать высокой прочностью, так как эксплуатация данных кабелей происходит в невероятно жестких условиях: резкие перепады температур и давления, растягивающие нагрузки, высокие температуры. Высокое напряжение, в соединении с агрессивной средой, высокой температурой и механическими воздействиями создают потребность в износостойком оборудовании, для питания которого необходимо применять нефтепогружные кабели.

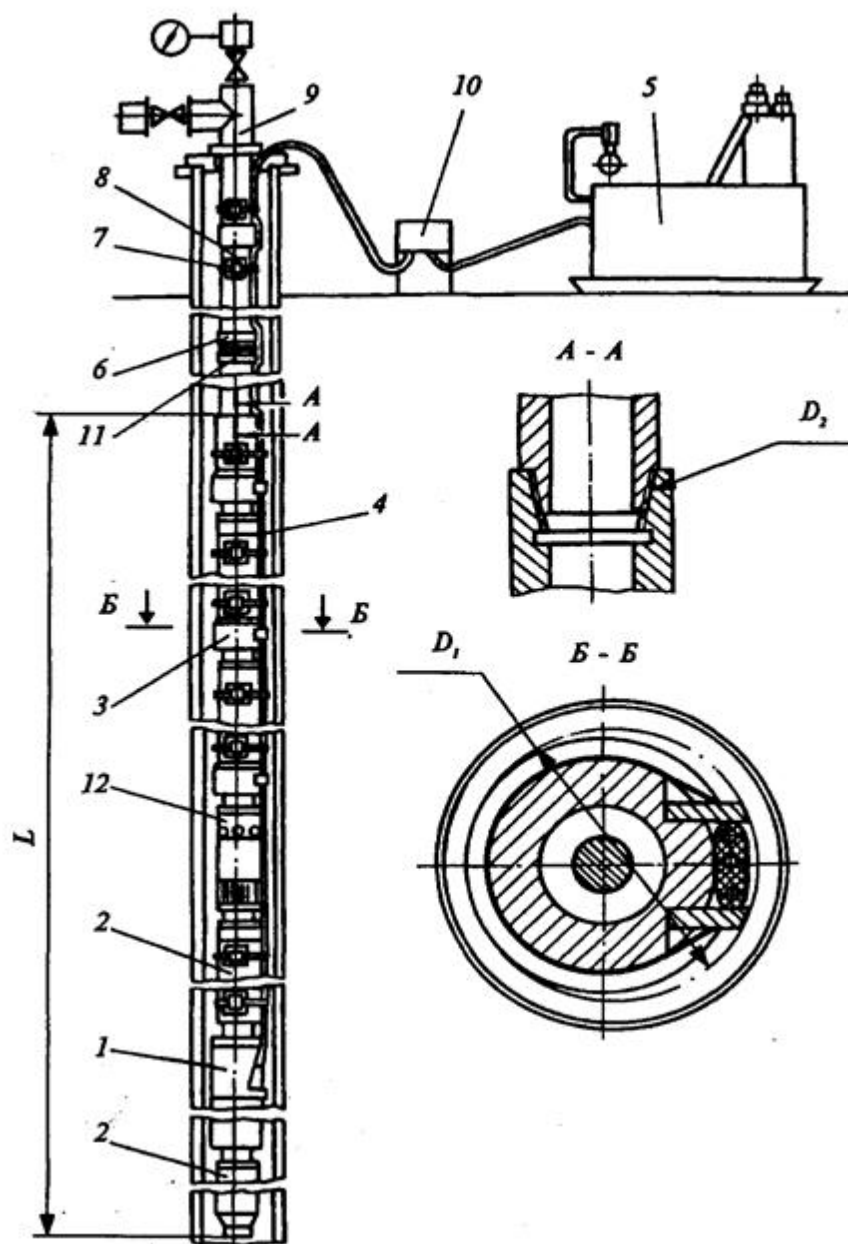


Рисунок 1 - Установка электроприводного центробежного насоса

1 – Электродвигатель; 2 – Гидрозащита; 3 – Насос; 4 – Кабельная линия; 5 – Комплектное трансформаторное устройство; 6 – Клапан спускной; 7 – Пояс; 8 – Труба насосно-компрессорная; 9 – Оборудование устья скважины; 10 – Станция управления; 11 – Клапан обратный; 12 – Газосепаратор; L, D1 – длина и диаметральный габарит насосного агрегата.

## 1.2 Основные конструктивные элементы

На сегодняшний день существует два основных типа кабелей для УЭЦН, отличающихся по геометрической форме поперечного сечения: плоские и круглые.

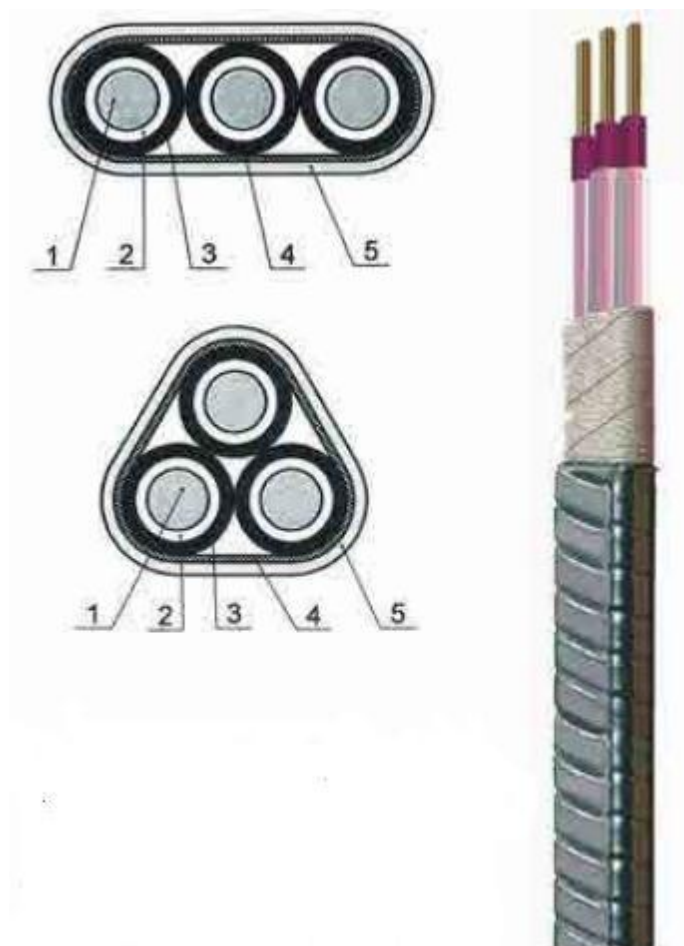


Рисунок 2 - Типовая конструкция кабеля для УЭЦН.

1 – Токопроводящая жила; 2 – Первый слой изоляции; 3 – Второй слой изоляции или оболочки; 4 – Подушка под броню; 5 – Броня из стальных лент

Основными конструктивными элементами всех типов кабелей, в том числе и применяемых в нефтегазовой индустрии, являются токопроводящие жилы, изоляции, оболочки, защитные покровы.

- Токопроводящая жила – элемент кабельного изделия, предназначенный для прохождения электрического тока. Жилы выполняются, как правило, из меди или алюминия. Медные и алюминиевые токопроводящие

жилы, предназначенные для кабелей и проводов стационарной, подразделяются на классы 1(однопроволочные) и 2(многопроволочные), а для кабельных изделий нестационарной прокладки и стационарной, требующей повышенной гибкости при монтаже, - на классы 3-6. Чем выше класс ТПЖ, тем выше ее гибкость. По форме ТПЖ подразделяются на круглые, секторные и сегментные.

- Изоляция представляет собой слой диэлектрика, наложенный на токопроводящую жилу. Сплошная изоляция – изоляция, которая представляет собой сплошной слой диэлектрика. Двухслойная изоляция – сплошная изоляция, состоящая из двух слоев однородных или разнородных диэлектриков. Основные виды изоляции, применяемые в нефтегазовой промышленности: пластмассовая изоляция, резиновая изоляция, эмалевая изоляция, пленочная изоляция.

- Оболочка может быть как из металлов, так и из электроизоляционных материалов. В кабелях для питания погружных электродвигателей применяются оболочки из свинцового сплава, резины и пластмассы.

- Защитный покров – элемент, который накладывается на изоляцию, экран, оболочку, и предназначен для дополнительной защиты от внешних воздействий. Как правило, защитный покров состоит из брони, подушки и наружного покрова.

- Броня – часть защитного покрова, изготовленная из металлических лент или одного или нескольких повивов металлических проволок. Подушка – внутренняя часть защитного покрова, наложенная под броней, предназначенная для защиты находящегося под ней элемента от коррозии и механических повреждений. Наружный покров – наружная часть защитного покрова, наложенная поверх брони и способствует защите ее от коррозии и механических воздействий. Защитный покров выполняется также в виде шланга из пластмассы или резины.

### **1.3 Электроизоляционные материалы, применяемые в нефтепогружных кабелях**

Работы по разработке, исследованиям, производству, применению на промыслах кабелей данной группы различными предприятиями и организациями России проводятся с 50-х годов и по настоящее время.

Поверх токопроводящей жилы накладывается изоляция, для которой по настоящее время в кабелях производства использовались и применяются следующие материалы:

- резиновая
- полиэтиленовая из термопластичного полиэтилена высокой плотности
- полипропиленовая
- изоляция из блок-сополимера пропилена с этиленом
- изоляция из термоэластопластов
- две полиимидно – фторопластовые пленки и экструзионный тефлон

#### **1) Характеристики и свойства.**

- **Резина**

Она может быть изготовлена из природной резины или синтетического происхождения. Преимущества такой изоляции заключаются в том, что провод получает высокую гибкость, что позволяет использовать его практически в любых условиях. Однако такая изоляция не считается долговечной, так как оплетка через определенное время теряет свойства. Традиционные резины на основе натурального, изопренового и бутадиен-стирольных каучуков нашли широкое применение в изготовлении изоляции и оболочки проводов и кабелей, рассчитанных на напряжение до 25 кВ.

- **Термоэластопласты**

Термоэластопласты – это полимерный материал, который успешно сочетает в себе физические свойства вулканизированных резин и перерабатываемость термопластов. Кабели с изоляцией из термоэластопластов предназначены для эксплуатации на номинальное переменное напряжение 660



В частоты до 400 Гц или постоянное номинальное напряжение 1000 В. Температура начала активного окисления материала составляет 220°C, а температура деструкции – 324°C.

- Полиэтилен

Изоляция изготовленная из полиэтилена как высокой так и низкой плотности отличается высокой устойчивостью к воздействию химической или иной агрессивной среды. Вулканизированный полиэтилен обладает устойчивостью и к перепадам температур, а вот обычные виды полиэтиленовой изоляции при нагреве не отличаются стабильностью. По этой причине, они не подходят для использования в скважинах при воздействии повышенных температур. Полиэтилен имеет возможность сохранять свои эксплуатационные характеристики вплоть до 90°C. Современные кабели с изоляцией из полиэтилена используются в сетях различного класса напряжения (до 500 кВ). Полиэтилен имеет высокие диэлектрические свойства изоляции, высокие механические свойства, более высокие по сравнению с бумажно-масляной изоляцией термические режимы, надёжность и долговечность кабелей.

- Фторопласты

Изоляция изготовленная из фторопластов для нефтепогружных кабелей отличается надёжностью. Но использование данного материала обеспечивает определённые затруднения, так как в начале фторопласт в лентах наматывают на кабельные жилы, а затем подвергают запеканию под воздействием повышенных температур. Если не учитывать эти затруднения, полученное покрытие отличается высокой стойкостью к любым внешним воздействиям: его сложно повредить механическим, химическим или любым другим способом.

Фторопласт-3 при температуре 315° С и выше разлагается с выделением мономера — газа. Температура плавления у фторопласта 200—220° С.

У фторопласта-4 процесс разложения начинается с 400° С; наибольшая рабочая температура его 250° С; наблюдается текучесть при 20° С (холодная текучесть) при напряжениях, превышающих 35 кГ/см<sup>2</sup>.

- Блок-сополимер пропилена с этиленом

Одним из основных используемых полимеров в нефтепогружных кабелях является блок-сополимер пропилена с этиленом.

Блок-сополимер пропилена с этиленом – это модифицированный полимер пропилена, в который в процессе синтеза был внесен этилен. С химической точки зрения материал представляет собой полимерную цепочку соединенных молекул пропилена, которая имеет включения молекул сополимера этилен-пропилен. Благодаря этим включениям вещество приобретает дополнительные свойства, а также появляются дополнительные возможности для модификации свойств материала при помощи введения добавок.

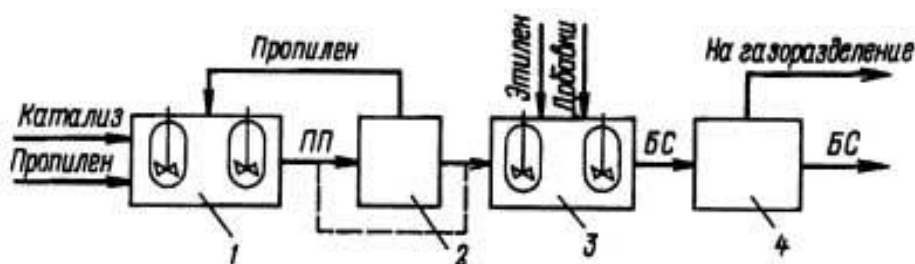


Рисунок 3 - Принципиальная блок-схема получения блок-сополимера пропилена и этилена по непрерывной технологии. 1 - Реакторный узел для синтеза ПП; 2 - Узел удаления избыточного пропилена; 3 - Реакторный узел синтеза СЭП; 4 - Узел дегазации БС.

### Основные свойства и особенности

- Огнестойкость. Самое распространенное применение блок-сополимера – введение добавок-антипиренов в состав вещества, чтобы сделать материал пригодным для применения в условиях высоких температур, а также исключить поддержание материалом горения.
- Высокая прочность. Материал лучше переносит механические воздействия, более стабильный и, при этом, эластичный. Потому улучшается прочность, как на сжатие, так и на излом и растяжение.

- Повышенная устойчивость к долгосрочным температурным воздействиям. Сополимер выдерживает постоянную температуру рабочей среды до 140 градусов.
- Повышенная стабильность к воздействию агрессивных химических веществ, растворителей.
- Улучшенная электроизоляция. Блок-сополимер является надежным диэлектриком, обеспечивая изолирующую устойчивость свыше 100 кВ/мм.
- Долговечность. Материал гораздо меньше подвержен механическому износу по сравнению с обычным полипропиленом.

#### **1.4 Влияние повышенных температур на изменение свойств изоляции**

При переработке полимерных материалов, а также при эксплуатации КИ на них воздействует множество факторов: тепло, радиация, свет, кислород, влага, механические нагрузки и т.д. Эти факторы, воздействуя на полимерный материал, могут проявляться в виде деструкции, либо сшивании.

Сшивание оказывает положительное влияние на полимерный материал, так как укрепление межмолекулярных связей приводит к улучшению прочностных характеристик или же термических свойств. Но при этом в некоторый момент времени может наступить чрезмерное сшивание, что приведет к повышенной хрупкости и высокой жесткости.

Деструкция, является обратным процессом сшиванию, и оказывает пагубное влияние на полимерные материалы, так как влечет за собой ухудшение физико-механических свойств: ухудшается эластичность, снижается механическая прочность, ухудшаются диэлектрические свойства и т.д.

Изменение свойств и структуры полимеров, разрушение материала называют старением. Повышенные температуры способствуют окислению полимеров молекулярным кислородом. Окисление при помощи света и примесей металлов, которые присутствуют в полимерном материале из-за коррозии оборудования, может как ускоряться, так и облегчаться.

В зависимости от типа активатора и основного агента, которые вызывают разрушение полимеров, различают следующие виды старения:

- Термоокислительное
- Тепловое
- Световое
- Озонное
- Радиационное
- Старение под влиянием механических нагрузок

Термическая деструкция - это разрушение макромолекул происходит под влиянием повышенных температур. При термической деструкции одни полимеры разрушаются с образованием коротких цепей различного строения (полиэтилен, полипропилен), другие с образованием мономера.

Термоокислительная деструкция - это разрушение макромолекул, которое происходит не только под действием повышенных температур, но и кислорода. Кислород существенно снижает стойкость полимеров к воздействию тепла.

Фотохимическая деструкция - это разрушение молекул под влиянием светового излучения. Фотохимическая деструкция развивается даже при относительно низких температурах, при этом ускоряясь и углубляясь в присутствии кислорода, так как кислород – это катализатор полимерного старения.

Радиационная деструкция протекает при воздействии на полимеры гамма-лучей, альфа-частиц, нейтронов. Энергия проникающей радиации превосходит во много раз энергию химических связей в макромолекулах. Возникающие при этом свободные радикалы «захватываются» полимером и существуют в нем длительное время, разрушая его.

Полимер может быть разрушен и под влиянием механических воздействий. Механическая деструкция происходит, при условии, когда

механические воздействия на материал превышают энергию связей атомов в полимере. Из-за того, что на некоторые участки оказывается непрерывное воздействие, появляются центры разрушения. Механическая деструкция полимера возможно и при его переработке, например при его длительной прокатке или высокоскоростном механическом перемешивании. Свободные полимерные радикалы, которые появляются в механическом поле, способны не только рекомбинировать, но и вступать в реакцию с полимерными макромолекулами.

Химическая деструкция - это разрушение макромолекул при действии химических агентов. Химическая деструкция характерна для многих гетероцепных полимеров, содержащих в основной цепи группы, которые способны к химическим превращениям. Глубина деструкции зависит от условий воздействия низкомолекулярного реагента, а также его природы и количества.

Механические свойства полимеров находятся под влиянием агрессивных сред, это обусловлено тем, что многие вещества, в частности кислоты и щелочи, вызывают протекание в полимерах химических процессов. Влияние среды может быть значительным даже тогда, когда она является химически нейтральной. Изменение деформационных и прочностных свойств, вызывает попадание воды в микропустоты полимеров, причем воздействие воды может быть как пластифицирующим, так и расклинивающим (эффект Ребиндера).

Диапазон «рабочих» температур наиболее распространенных полимерных материалов на основе карбоцепных полимеров обычно не превышает 100—150 °С. При более высоких температурах, происходит резкое уменьшение жесткости, прочности и твердости, это связано с приближением к температуре текучести аморфных или температуре плавления кристаллических полимеров.

При низких температурах для полимеров характерна хрупкость, что в случае ряда материалов, например, резин, приводит к невозможности их эксплуатации.

К примеру атмосферные осадки, сопровождаемые резким понижением температуры, способствуют быстрому растрескиванию поливинилхлоридного пластика. Низкие температуры приводят к разным изменениям линейных размеров металлических проводов и изоляционной оболочки, вызывая между ними дополнительные механические напряжения.

Таблица 1.1 – Длительно допустимая температура нагрева жил кабеля.

Длительно допустимая температура нагрева жил кабеля, °С, не более	Материал изоляции и оболочек
90	Изоляция и оболочки из полиэтилена высокой плотности
100	Изоляция и оболочки из композиций полипропилена
110	Изоляция и оболочки из термоэластопластов
120	Изоляция и оболочки из вулканизированного полиэтилена высокой плотности, сополимеров и блок-сополимеров пропилена
130	Оболочки из резины на основе нитрильного каучука
160	Изоляция из фторопласта и фторсополимеров
200	Полиимидно-фторопластовая изоляция, изоляция и оболочки из резины на основе этиленпропиленового каучука также оболочки из свинца и его сплавов

Материал на основе композиции блок-сополимера пропилена с этиленом позволяет повысить температуру эксплуатации, так как БСЭП имеет более высокую температуру плавления. При этом стойкость к термоокислительному старению при повышенных температурах недостаточна, кроме того, она нетехнологична. Исследуемый блок-сополимер получают сополимеризацией пропилена с этиленом. Оптимальное содержание в нем звеньев этилена - 10%.

Снижение количества этих звеньев ниже 8% снижает морозостойкость композиции, а увеличение выше 15% приводит к снижению температуры размягчения изоляции и ее деформации в условиях эксплуатации.

Изготовители часто ищут технические возможности, которые будут способствовать улучшению таких показателей, как адгезия изоляции к токопроводящей жиле, между слоями двухслойной изоляции, а также повышению коррозионной стойкости бронепокрова, что дает возможность увеличить срок службы кабельных изделий. При этом увеличение допустимой температуры нагрева кабелей с пластмассовой изоляцией свыше 120°C является труднопреодолимой проблемой. Дальнейшее увеличение температуры способствует набуханию изоляции до крупных величин в агрессивной среде, содержащей нефть, воду и газ.

### **1.5 Влияние эксплуатационных факторов на НПК**

Эксплуатация кабелей сопровождается чрезвычайно жесткими условиями: высокое гидростатическое давление, эффект воздействия повышенных температур, агрессивная рабочая среда, механические воздействия, газовый фактор, замедленное отведение тепла из кабеля, температурный перепад, дифференциальное давление и температура по длине кабельной линии.

По длине кабельной линии УЭЦН от ПЭД до пункта подключения кабель силовой эксплуатируется при различных условиях:

- в среде скважинной жидкости
- в газо-воздушной среде
- на воздухе.

Из эксплуатационных факторов наибольшее значение имеет рабочая температура и рабочее гидростатическое давление, а так же наличие механических нагрузок, действующих на кабель при спускоподъемных операциях и в процессе работы на скважине из-за искривленности последней.

Степень механических воздействий на кабель должна определяться для каждой конкретной скважины. На рис. 3 для ясности приведены примеры конкретных профилей скважин, показывающие, насколько они значительно отличаются друг от друга. Обычно радиус кривизны скважины изменяется на большой длине. Нормальная кривизна берется с углом изгиба 7-10 градусов, и в этих случаях скважину можно считать вертикальной. В то же время имеются направленные лунки с отклонением ствола скважины от вертикали на угол до 60 градусов. В дополнение к изгибающимся скважинам, раздавливающие нагрузки, действующие на кабель, также зависят от расстояния между трубой и корпусом, т.е. Е. Наружный диаметр трубы и внутренний диаметр обсадной колонны. Наиболее распространенные внутренние диаметры обсадной колонны-122, 130, 144 и 148 мм для установок с максимальным диаметром 114, 124, 137 и 142 мм соответственно. Обсадные колонны поставляются длиной от 9.5 до 13 м и соответствуют ГОСТ 632-80. Внешние диаметры НКТ – 33, 42, 48, 60, 73, 89, 102 и 114 мм и при этом диаметры концевых муфт составляют 48, 56, 63, 78, 93, 114, 127 и 141 мм соответственно. Длина одной трубы НКТ равна 5 - 10 м (наиболее часто применяются НКТ длиной 8 м). Количество точек крепления кабеля выбирается по две на одну трубу. Расстояние между точками крепления составляет 5-8 м.

Во время спуска установок в скважину, как правило наблюдается кручение колонны насосно-компрессорных труб, во многом из-за ее слабого крепления на устье скважины.



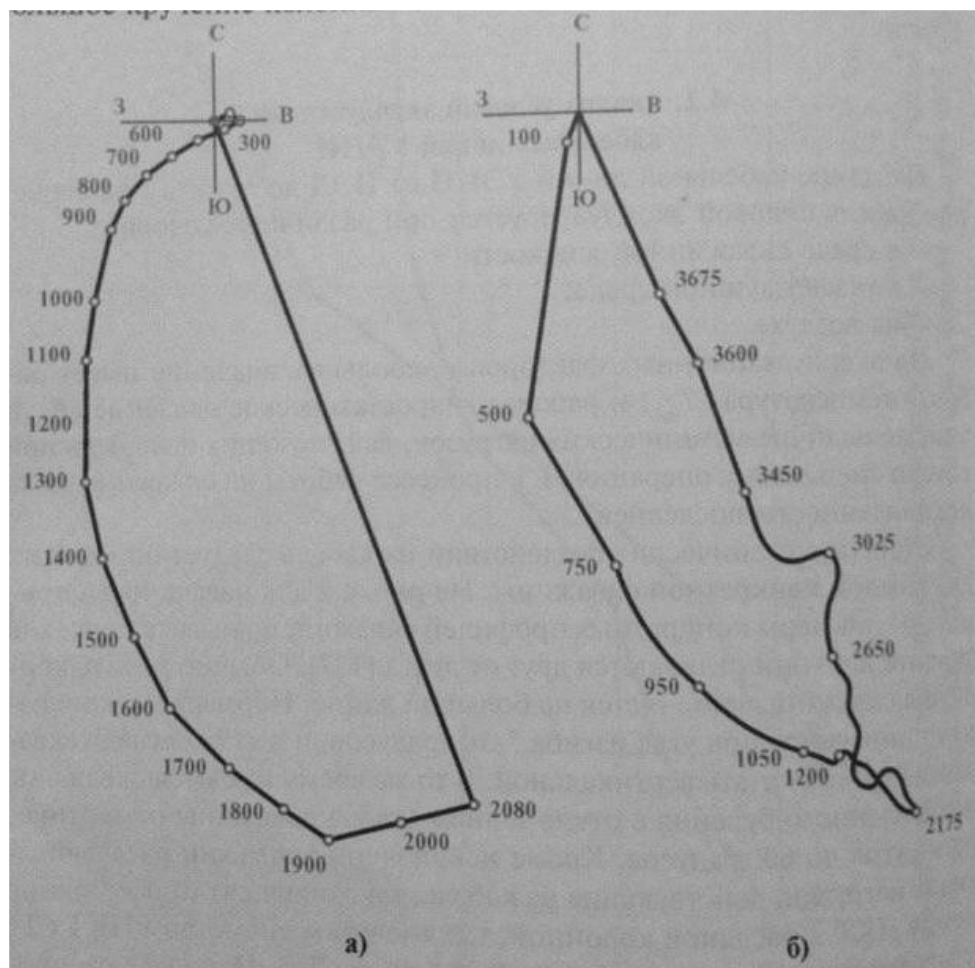


Рисунок 4 - Пример профилей скважин:

а) Кавказская геофизическая контора, район Грачевский; б) Узгеофизтрест, г.Наманай.

Из-за этого кручения основной кабель начинает скручиваться вокруг трубки по его диаметру. Шаг скручивания может достигать до 20 м, а количество кручений на 1 км линии составляет 30-50. Такое механическое действие является опасным для кабелей плоского исполнения. Когда кабельная броня контактирует с трубами, возникают механические воздействия в виде срезов, наиболее явно проявляется это в изогнутых скважинах. Величина и количество повреждений этого типа зависят от глубины скважины, а также от качества соединения обсадной колонны между собой и подготовки скважины, когда стены обрабатываются шаблоном.

Рабочая температура в работе кабеля в установке электроприводного центробежного насоса во многом зависит от температуры пластовой жидкости, глубины скважины, температурного коэффициента скважины, а также ее производительности и времени работы. Определить рабочую температуру

можно на разных уровнях по высоте скважины. В свою очередь температурный коэффициент скважины отличается от геотермического градиента из-за прогрева среды от масла, поднятого по трубе.

Во время эксплуатации кабельных линий наблюдается перепад температур из-за того, что верхний конец кабеля длиной до 20 м находится на поверхности, и рабочая температура для него определяется температурой воздуха.

Фактическая рабочая температура во время работы кабеля сильно варьируется в зависимости от местоположения скважины. Максимальная рабочая температура наблюдается в скважинах Ставропольского края, Грузии и некоторых районах, достигающих 130 °С. В районах Западной Сибири максимальная рабочая температура составляет 70-90 °С и т. д..

Гидростатическое давление в глубоких скважинах зависит от плотности жидкости. В некоторых эксплуатационных скважинах давление составляет 150 МПа, а в ультра - глубоких скважинах -200 -250 МПа.

Рабочая среда, в которой эксплуатируются кабельные линии УЭНЦ, - это нефтеводогазосодержащая жидкость. Нефтяная среда содержит определенное количество резервуара или связанной воды и связанного с ним или природного газа. Нефть представляет собой смесь углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других соединений. Для большинства нефти содержание углерода колеблется от 83% до 87%, а водорода - 12-14%. Иногда в зависимости от количества азота, серы и кислорода.

## **2. Методическая часть**

### **2.1 Объект испытаний**

Объектом испытаний является нефтепогружной кабель марки КППБП – 125 с медными жилами, с изоляцией из композиции блок-сополимера пропилена с этиленом, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил 125 °С.

Кабель предназначен для подачи электрической энергии к погружным электродвигателям установок добычи нефти, водоподъема и перекачки жидкостей из шурфов, резервуаров и водоемов на номинальное переменное напряжение 3,3 кВ, 4,0 кВ и 5,0 кВ частотой 50 Гц.

Вид климатического исполнения УХЛ, категорий размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150, для эксплуатации в скважинной жидкости.

Кабели изготавливаются с тремя основными медными жилами. На токопроводящие жилы накладывается в два слоя основная изоляция из композиции блок-сополимера пропилена с этиленом, устойчивой к воздействию повышенной температуры и ионов меди (слои изоляции отличаются между собой по цвету). Поверх параллельно уложенных изолированных жил накладывается подушка. Поверх подушки накладывается броня из профилированной стальной оцинкованной ленты.

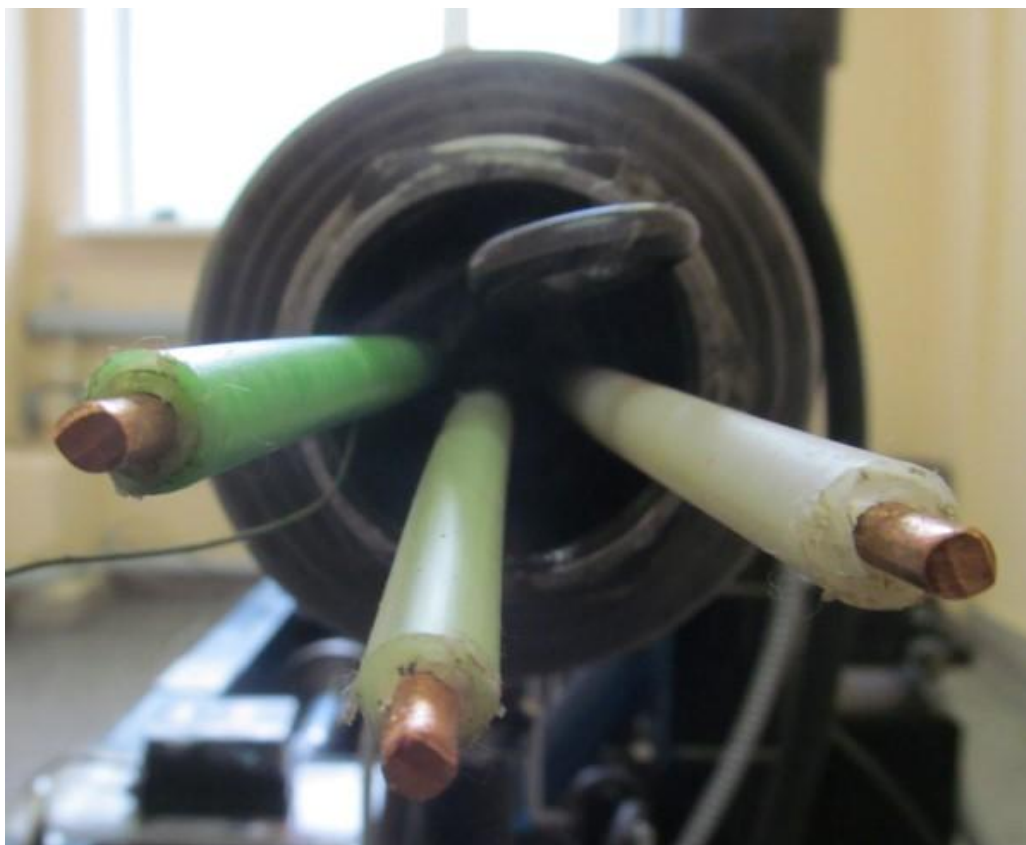


Рисунок 5 – Образец КППБ 125

## 2.2 Оборудование и методика испытаний для проведения испытаний

Испытания изоляции проводились на установке УИК 974, в которой в роли пластовой жидкости имитировалась жидкость, состоящая на 50% из воды и на 50% из индустриального масла.



Рисунок 6 – Установка УИК 974.

Сопротивление изоляции измерялось при помощи тераомметра Metrel MI 3210, с погрешностью измерений 5 %.



Рисунок 7 – Тераомметр Metrel MI 3210

### 2.3 Методика обработки результатов испытаний

Расчет сопротивления изоляции, был произведен согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 3345 – 76 по пункту 4. Предлагаемый стандарт рассматривает метод определения электрического сопротивления изоляции кабелей, проводов и шнуров.

Так как измерение проводилось при температуре, отличающейся от 20 °С, а требуемое техническими условиями на конкретное кабельное изделие значение электрического сопротивления изоляции нормировано при 20 °С, то измеренное значение пересчитывают по формуле:

$$R_{20} = R_{изм} \cdot K, \quad (2.1)$$

где  $R_{20}$  - электрическое сопротивление изоляции при температуре 20 °С, МОм;

$R_{изм}$  - электрическое сопротивление изоляции при температуре измерения, МОм;

$K$  – коэффициент для приведения электрического сопротивления изоляции к температуре 20 °С.

Значение коэффициента  $K$  указывают в технических условиях на конкретное кабельное изделие. Указано в таблице 1. А (Приложение А).

Пересчет электрического сопротивления изоляции на длину 1 км должен быть произведен по формуле:

$$R = R_{20} \cdot L, \quad (2.2)$$

$L$  – длина испытуемого образца без учета концевых участков, км.

Согласно межгосударственному стандарту длина образца должна быть определена с точностью до 1%.

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

В соответствии с вышеуказанным межгосударственным стандартом и формулой (2.1), произведем пересчет значения электрического сопротивления изоляции на 20 °С на 1 жиле при 70 °С.

$$R_{20} = 438,8 \cdot 10^9 \cdot 14,02 = 6152000 \text{ МОм} \quad (3.1)$$

По формуле (2.2) пересчитаем образец кабеля длиной 3 метра на 1 км длины:

$$R = 6152000 \cdot 10^6 \cdot 0,003 = 18456 \text{ МОм} \quad (3.2)$$

Согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ Р 51777 – 2001 по пункту 4.2.2.2 электрическое сопротивление изоляции пересчитанное на 20 °С и длину 1 км должно быть не менее:

2500 МОм – для кабелей с пластмассовой изоляцией и изоляцией из термоэластопластов.

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что изоляция пригодна для эксплуатации.

Весь пересчет электрического сопротивления изоляции на 1 км длины приведен в таблице – 2.1.

Таблица – 2.1 Пересчитанные значения сопротивления изоляции.

Температура, °C	Сопротивление изоляции, МОм		
	жила 1 (крайняя)	жила 2 (средняя)	жила 3 (крайняя)
20	21156	25740	21975
60	23970	23340	19344
70	18456	23580	19605
80	13518	16680	15342
90	13281	13830	11409
100	2046	3120	2757
110	990	975	417
120	72	135	87
130	1,5	1,2	0,6
140	0,24	0,18	0
150	0	0	0

По данным из таблицы 2.1 построим зависимости электрического сопротивления изоляции от температуры.

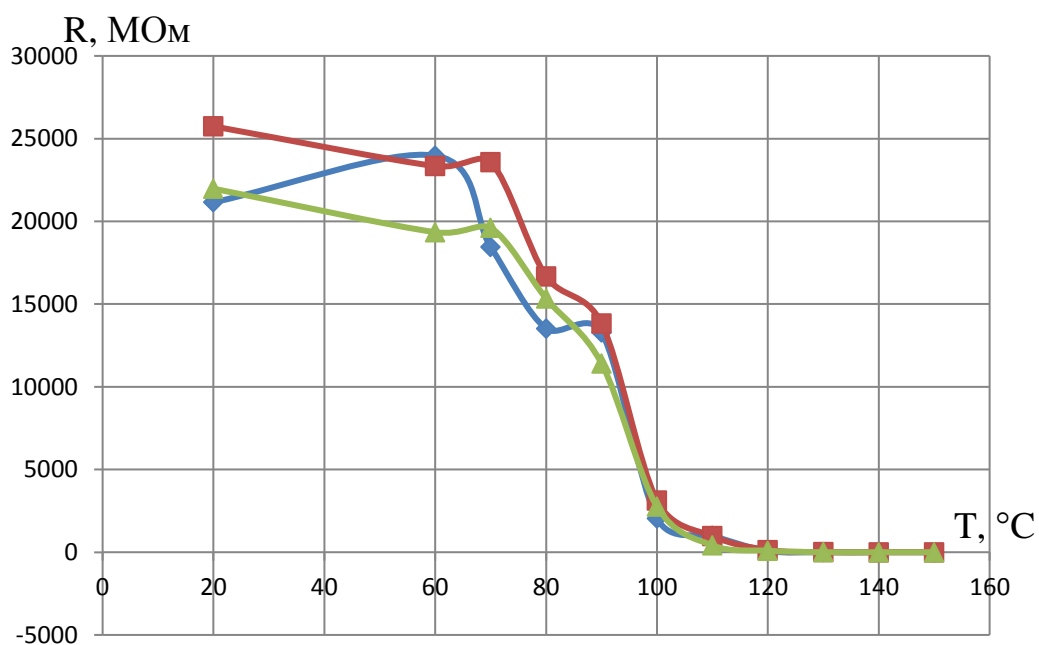


Рисунок 8 – Изменение сопротивления изоляции от температуры

#### Выводы:

- 1) Изоляция нефтепогружных кабелей – это основной элемент конструкции, обеспечивающий их работу. Для сохранения электроизоляционных свойств изоляции следует учитывать воздействие эксплуатационных факторов.
- 2) Основной причиной отказа НПК является воздействие на него целого комплекса факторов. В этом случае рассматривалась зависимость электрического сопротивления изоляции под воздействием повышенных температур.
- 3) Повышение температуры в блок-сополимере приводит к появлению дефектных областей кристаллической решетки. Дефекты в свою очередь приводят к уменьшению сил межмолекулярного взаимодействия, и как следствие – повышению подвижности свободных носителей заряда. Так как увеличивается концентрация и подвижность свободных носителей заряда, это обуславливает рост проводимости и соответственно снижение электрического сопротивления изоляции.
- 4) Снижение сопротивления изоляции в последствии сопровождается полной деструкцией электроизоляционного материала.



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

Применение нефтепогружных кабелей с изоляцией из блок-сополимера пропилена с этиленом в условиях с высокой температурой сопровождается набуханиями, трещинами и вмятинами на поверхности изоляции, что приводит к снижению срока службы. Исследование этой проблемы позволит дать рекомендации по использованию НПК с той температурой, при которой не ускорится процесс старения изоляции.

Цель данного раздела обосновать целесообразность использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, используя планово-временные и материальные показатели процесса разработки.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы и эксплуатации проекта;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

##### **4.1 SWOT-анализ исследования влияния повышенной температуры на изоляцию нефтепогружных кабелей**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта.

Задача анализа – описать ситуацию, для решения которой нужно принять какое-либо решение. [ссылка]

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

*С* – сильные стороны проекта;

*Сл* – слабые стороны проекта;

*В* – возможности;

*У* – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

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

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

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

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

<b>Возможности</b>	<b>Сильные стороны проекта</b>			
	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
<i>B1</i>	-	+	+	+
<i>B2</i>	+	+	-	-
<i>B3</i>	+	+	+	-
	<b>Слабые стороны проекта</b>			
	<i>Сл1</i>	<i>Сл2</i>	<i>Сл3</i>	<i>Сл4</i>
<i>B1</i>	-	-	+	-
<i>B2</i>	-	+	+	+
<i>B3</i>	+	+	-	+

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

<b>Угрозы</b>	<b>Сильные стороны проекта</b>			
	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
<i>У1</i>	-	+	+	-
<i>У2</i>	+	+	+	-
<i>У3</i>	-	+	+	-
	<b>Слабые стороны проекта</b>			
	<i>Сл1</i>	<i>Сл2</i>	<i>Сл3</i>	<i>Сл4</i>
<i>У1</i>	-	+	+	-
<i>У2</i>	+	+	+	-
<i>У3</i>	-	+	+	-

При разработке технического проекта электрооборудования инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированного электрооборудования, что немало важно для потребителей.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4.2 и 4.3, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно равно числу слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз

проведения исследований. Однако, если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Что касается угроз, то влияние на сильные и слабые стороны одинаково.

## 4.2 Планирование и формирование графика работ в рамках технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

### 4.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения технического проекта, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

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

#### Продолжение таблицы 4.4

Оформление отчета по техническому проекту	7	Составление пояснительной записки	СД
	8	Проверка выпускной квалификационной работы	НР
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	СД, НР
	10	Защита ВКР	СД

### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Определение трудоемкости каждого участника выполнения проекта представляется важным моментом, так как большую часть стоимости разработки составляют трудовые затраты. [ссылка]

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

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

Трудоемкость проведения работ приведена в таблице 4.5

### 4.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

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

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















Таблица 4.5 – Трудоемкость выполнения работ

№	Название работы	Трудоемкость работ, раб. дн.					
		Мин. возможн ое		Макс. возможн ое		Ожидае мое	
		НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1		1		1	
2	Обзор научной и технической литературы		15		25		19
3	Заготовка образцов исследуемого материала		7		14		10
4	Определение условий испытания	1	1	3	3	2	2
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	49	49	56	56	52	52
6	Оценка результатов технического проекта	1	3	3	5	2	4
7	Составление пояснительной записки		4		8		6
8	Проверка выпускной квалификационной работы	1		3		2	
9	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3	3
10	Защита ВКР		1		1		1

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР.

На основе таблицы 4.5 строим план-график проведения работ (таблица 4.6).

Таблица 4. 6 - План-график проведения работ

п/п	Наименование работ	Исп-ли	Прод., дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1													
2	Обзор научной и технической литературы	СД	19													
3	Заготовка образцов исследуемого материала	СД	10													
4	Определение условий испытания	НР.	2													
		СД	2													
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	НР	52													
		СД	52													
6	Оценка результатов технического проекта	НР	2													
		СД	4													
7	Составление пояснительной записки	СД	6													
8	Проверка выпускной квалификационной работы	НР	2													
9	Подготовка к защите ВКР	НР	3													
		СД	3													
10	Защита ВКР	СД	1													

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает порядка 4 месяцев. Продолжительность выполнения технического проекта составит 123 дня с выходными и праздниками. Из них для каждого в отдельности:

- 97 дней - продолжительность выполнения работ студента-дипломника;
- 62 дней - продолжительность выполнения работ научного руководителя.

#### **4.3 Составление сметы затрат на разработку технического проекта**

Планирования себестоимости проведения технического проекта предназначено для экономического обоснования величины затрат на его выполнение. Начальными данными для расчета затрат являются план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов, которые далее суммируются:

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

##### **4.3.1 Расчет материальных затрат**

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носитель, инвентарь и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.2)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;



$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении технического проекта;

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов.

Расчет материальных затрат заносится в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Изолированная ТПЖ НПК	14	550	7700
Макетный образец	14	25	350
Трансформаторное масло	2	60	120
Бокорезы	1	500	500
Маркер	1	60	60
Бумага	1	250	250
Ручка	2	15	30
<b>Итого</b>	<b>35</b>		<b>9010</b>

#### 4.3.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп}$$

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

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

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

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

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_d$  – количество рабочих дней в месяце ( 26 дней при 6-дневной рабочей недели, раб. дн.)

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.

Таблица 4.8 - 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	27760	8328	36088	1388	62	86056
Студент-дипломник	12300	3690	15990	615	97	59655
Итого						145711

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 4.9

Таблица 4.9 - Расчёт полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	86056	12909	98965
Студент-дипломник	0,12	59655	7159	66814
Итого		145711	20068	165779

#### 4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{ЗП}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным закона от 28.11.2018 №446 – ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

#### 4.3.4 Накладные расходы

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

#### 4.4 Формирование сметы проекта

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

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10. Смета технического проекта

Наименование	Сумма, руб.	Доля, %
Затраты на комплектующие	9010	3,4
Затраты по полной заработной плате исполнителей	165779	62
Отчисления во внебюджетные фонды	49734	18,6
Накладные расходы	35924	16
Итого	260447	100

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 97 раб. дней для инженера и 62 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ.

#### 4.5 Определение ресурсоэффективности проекта

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

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

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

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.11

Оценку характеристик проекта проведем на основе следующих критериев:

1. Повышение производительности труда пользователя;
2. Безопасность: обеспечение безопасности работ при эксплуатации и ремонте оборудования;
3. Помехоустойчивость: максимальное значение электромагнитных помех, воздействующих на электропривод, при котором он может продолжать работу с требуемыми рабочими характеристиками;
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)
5. Надежность: способность объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах;
6. Простота эксплуатации.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,4.$$

Таблица 4.11– Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Гибкость	0,1	5
2. Безопасность	0,2	4
3. Помехоустойчивость	0,2	4
4. Энергосбережение	0,1	5
5. Надежность	0,2	4
6. Материалоемкость	0,2	5
Итого:	1	4,4

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 – бальной шкале), что говорит об эффективности использования

технического проекта. Высокие баллы безопасности, помехоустойчивости и надежности позволяют судить о качестве системы.

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

- в результате проведения SWOT– анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта. Угрозы имеют низкие вероятности и незначительное воздействие, что говорит о высокой надежности проекта;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для дипломника, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу дипломника;
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,4 по 5 –балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.