

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетика и электротехника

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Оценка термической стойкости металлических экранов силовых кабелей при коротком замыкании</b>

УДК 621.315.2.016.2:622.276.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5В	Артемьев Артём Гаврильевич		

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
Старший преподаватель	Шуликин Сергей Николаевич			

### 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
Р 1	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>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	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.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	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.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	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>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	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

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

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5В	Артемьеву Артёму Гаврильевичу

Тема работы:

Оценка термической стойкости металлических экранов силовых кабелей при коротком замыкании	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.12.2018 №11327/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Обзор научной статьи, данные МОЭСК
--	------------------------------------

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор;</li> <li>2. Методическая часть;</li> <li>3. Расчетная часть;</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>5. Социальная ответственность;</li> <li>6. Заключение</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Мелик-Гайказян Мария Вигеновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сотникова Анна Александровна</p>

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

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

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5В	Артемьев Артём Гаврильевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г5В	Артемьеву Артёму Гаврильевичу

<b>Школа</b>		<b>Отделение</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

<i>1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): заработная плата сотрудников, страховые отчисления, накладные расходы.</i>	<i>Заработная плата сотрудников ТП определяется на основании положения об оплате труда в НИ ТПУ. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону №446 – ФЗ. Накладные расходы определяются на основании сметы расходов по проектам ТПУ.</i>
<i>2. Используемая система налогообложения</i>	<i>Социальные отчисления: 30,2%.</i>

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения технического проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>SWOT-анализ методики расчета термической стойкости экрана кабеля. Коэффициент ресурсной эффективности.</i>
<i>2. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП.</i>	<i>Оценка времени выполнения работ, диаграмма Ганта</i>
<i>3. Формирование сметы.</i>	<i>Группировка затрат по статьям: -материальные затраты; -затраты на заработную плату; -отчисления во внебюджетные фонды; -накладные расходы.</i>

### Перечень графического материала:

<i>1. Матрица SWOT</i>
<i>2. Диаграмма Ганта</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	11.02.19
---	----------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		04.02.19

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5В	Артемьев А. Г.		04.02.19

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г5В	Артемьеву Артёму Гаврильевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования являются методика расчета термической стойкости металлического экрана одножильного кабеля при различных режимах короткого замыкания на землю.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	– Специальные правовые нормы трудового законодательства; – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследования.
<b>2. Производственная безопасность</b>	Анализ выявленных вредных факторов: – Умственная и физическая утомляемость; – Шум; – Микроклимат; – Освещенность. Анализ выявленных опасных факторов: – Пожаробезопасность. – Электробезопасность
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Утилизация отходов производства и потребления.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее вероятным ЧС при работе в учебной аудитории является возникновение пожара.
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5В	Артемьев А. Г.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 60 страницы, 4 рисунка, 16 таблиц, 17 источников.

**Ключевые слова:** экран, кабельное изделие, изоляция, термическая стойкость, сшитый полиэтилен, силовые кабели, короткое замыкание, безопасность, экономическая эффективность.

**Объект исследования:** металлические экраны одножильных кабелей при различных режимах короткого замыкания.

В процессе работы проводились расчеты в программной среде «MathCAD», «Microsoft Office».

Полученными результатами являются оценки термической стойкости экранов одножильного кабеля при различных режимах короткого замыкания, упрощенная формула для проверки термической стойкости.

**Область применения:** результаты данной работы могут быть использованы при проектировании кабельных линий для расчета термической стойкости одножильных кабелей на среднее напряжение.

## **Обозначения и сокращения**

СПЭ – сшитый полиэтилен;

КЗ – короткое замыкание;

ОЗЗ – однофазное короткое замыкание на землю;

ДЗЗ – двойное короткое замыкание на землю



## Оглавление

Введение.....	10
1. Литературный обзор.....	11
1.1. Конструкции силовых однофазных кабелей среднего напряжения.....	11
1.2. Режимы работы кабельных линий.....	13
1.3. Оценка термической стойкости.....	16
2. Методическая часть.....	17
2.1. Проверка термической стойкости при ОЗЗ.....	17
2.2. Проверка термической стойкости при ДЗЗ.....	19
3. Получение результатов.....	21
3.1. Расчет термической стойкости экрана при ОЗЗ.....	21
3.2. Расчет термической стойкости экрана при ДЗЗ.....	22
3.3. Расчет термической стойкости при различных переменных.....	23
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	28
4.1. SWOT-анализ методики расчета термической стойкости экрана кабеля.....	28
4.2. Планирование технического проекта.....	31
4.3. Структура работ в рамках технического проектирования.....	31
4.4. Определение трудоемкости выполнения работ.....	33
4.5. Разработка графика проведения научного исследования.....	35
4.6. Смета технического проекта.....	37
4.7. Заработная плата исполнителей темы.....	37
4.8. Страховые отчисления.....	39
4.9. Накладные расходы.....	39
4.10. Формирование сметы затрат технического проекта.....	40
4.11. Определение ресурсоэффективности проекта.....	40
5. Социальная ответственность.....	43
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	43
5.2. Производственная безопасность.....	47
5.3. Экологическая безопасность.....	53
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	54
Заключение.....	58
Список литературы:.....	59

## Введение

В России основным напряжением сетей для передачи электрической энергии является напряжение 10 кВ. Данное напряжение используют для передачи электрической энергии в городах (в новых жилищных районах) и для питания предприятий. Для передачи напряжения 10 кВ используются одножильные силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Как известно надежность кабельной линии заключается в стойкости кабельного изделия к аварийным ситуациям (режимам). В 70 – 90 % аварийных случаев приходится на однофазное короткое замыкание на землю [3]. При возникновении короткого замыкания по кабельной линии проходит ток, в десятки раз превышающий номинальный, за короткий промежуток времени (секунды, доли секунды). За время прохождения тока короткого замыкания, кабельная линия подвергается сильному термическому воздействию, которое необходимо учитывать при проектировании кабеля для его стойкости к данной ситуации.

В конструкции силовых кабелей на напряжение 10 кВ имеется металлический экран, по которому также проходит ток, сопоставимый с током жилы. Следовательно, при коротком замыкании металлический экран кабеля будет так же подвергаться значительным токам и термическому воздействию.

На сегодняшний день при проектировании кабельных линий, металлические экраны кабелей рассчитываются с учетом термической стойкости лишь к однофазному короткому замыканию на землю. Поскольку данный аварийный режим является не единственным, целью данной работы будет являться проверка экрана на термическую стойкость к другим возможным аварийным случаям.

## 1. Литературный обзор

### 1.1. Конструкции силовых однофазных кабелей среднего напряжения

Одножильный силовой кабель состоит из изолированных друг от друга жилы и экрана, а также внешней изоляции экрана. Жила выполняется из алюминиевых или медных проволок, а в качестве изоляции широкое распространение получил сшитый полиэтилен. [1]

Наглядно кабель представлен в рисунке 1:

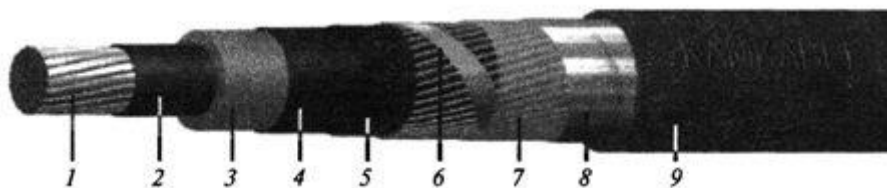


Рисунок – 1. Однофазный кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена

1. Круглая многопроволочная жила;
2. экран из полупроводящего материала;
3. изоляция из сшитого полиэтилена;
4. экран из полупроводящего материала;
5. разделительный слой из полупроводящей ленты;
6. медный проволочный экран;
7. разделительный слой из крепированной бумаги;
8. разделительный слой из алюмополиэтиленовой ленты;
9. оболочка из сшитого полиэтилена.

Многопроволочная жила выполняется из меди или алюминия. Главной характеристикой жилы является площадь ее сечения, которое определяется по [4] исходя из материала жилы и номинального сечения.

Экран из полупроводящего материала (полупроводящий сшитый полиэтилен) необходим для обеспечения локального выравнивания напряженности электрического поля на негладкой поверхности многопроволочной жилы.

Основной задачей проволочного металлического экрана является выравнивание электрического поля, воздействующего на главную изоляцию кабеля (изоляцию жилы), т.е. для выполнения своих основных функций экран заземляется.

Поскольку металлический проволочный экран связан с землей, он изолируется от жилы изоляцией из сшитого полиэтилена, пробитие которой вызывают однофазные короткие замыкания на землю.

Оболочка кабеля из сшитого полиэтилена имеет защитный функционал. Она обеспечивает защиту внутренней конструкции кабеля от попадания влаги, а также от механических повреждений.

Изоляция из сшитого полиэтилена имеет целый ряд преимуществ главными из которых являются:

1. более высокая допустимая длительная температура;
2. более высокая предельная температура;
3. отсутствие жидких компонентов в конструкции;
4. большой срок службы;
5. высокие диэлектрические свойства изоляции.

Температура размягчения сшитого полиэтилена равна более 150 °С, а температура его плавления – 200 °С.

В дальнейших расчетах будет использоваться кабель марки АПвПуг 1x185/25 – 10 и другие его вариации с различными сечениями экрана и жилы.

Расшифровка кабеля АПвПуг 1x185/25 – 10:

1. А – алюминиевая токопроводящая жила;
2. Пв – изоляция из сшитого полиэтилена;
3. Пу – усиленная полиэтиленовая оболочка;
4. г – наличие продольной герметизации;
5. 1 – количество жил кабеля;
6. 185 – сечение токопроводящей жилы кабеля;
7. 25 – сечение медного экрана кабеля;
8. 10 – номинальное напряжение, кВ.

Данный кабель предназначен для передачи и распределения электрической энергии при напряжении 10 кВ, промышленной частоты 50 Гц для сетей с изолированной или заземленной нейтралью.

Кабель может прокладываться в земле, в воде, а также в воздухе.

Выбор сечений проволочного экрана кабеля происходит согласно ГОСТ Р 55025 – 2012 [4]: номинальное сечение медного экрана в одножильных кабелях должно быть не менее  $16 \text{ мм}^2$  - для кабелей с жилами номинальным сечением 16-120  $\text{мм}^2$ ; не менее  $25 \text{ мм}^2$  - для кабелей с жилами номинальным сечением 150-300  $\text{мм}^2$ ; не менее  $35 \text{ мм}^2$  - для кабелей с жилами номинальным сечением 400  $\text{мм}^2$  и более.

## 1.2. Режимы работы кабельных линий

Кабельная линия может работать в двух режимах – номинальном и аварийном.

В номинальном режиме кабельная линия работает при максимально допустимом токе нагрузки, который рассчитан на стационарный режим при определенных условиях прокладки.

Как оговаривалось, для обеспечения основной задачи проволочного металлического экрана его необходимо заземлить. При проектировании кабельных линий проволочный экран, как правило, заземляют в двух точках (по концам кабеля). В следствии этого возникает индуктивный механизм появления тока в экране. Данный механизм связан с наличием тока в жиле кабеля, за счет взаимной индукции между жилой и экраном, в проволочном экране индуцируется ток сопоставимый с током в жиле. Ток протекающий в экране способствует его нагреву и может превысить допустимые значения при номинальной нагрузке. Средством снижения значения индуцируемого тока является применение кабелей с минимальным сечением медного экрана.

*Объяснение появления индуктивного тока в экране кабеля.*

Трехфазная кабельная линия включает в себя три однофазных кабеля в каждом из которых имеется проволочный заземленный экран. Заземляющее устройство является общей для всех экранов точкой, грубо говоря экраны всех трех фаз объединены по концам кабеля. В результате появляются три замкнутых контура, образованные парами экранов: «АВ», «ВС», «СА» (рисунок 2).

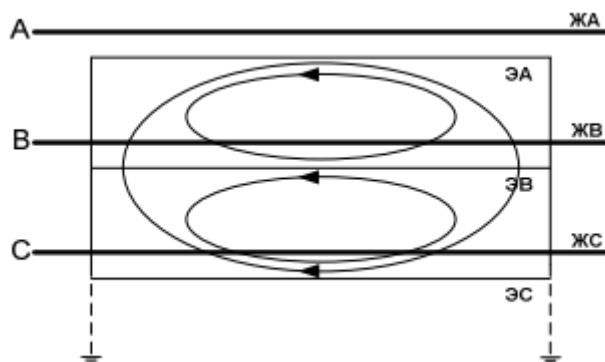


Рисунок 2 – Три однофазных кабеля и три контура, образованные экранами

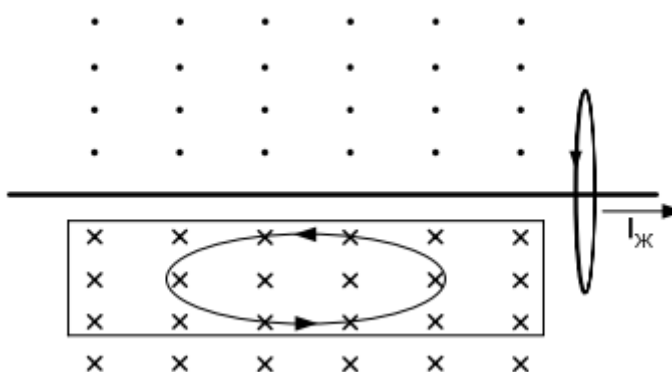


Рисунок 3 – Однофазный кабель и ток в экранном контуре, индуцированный током жилы

На рисунке 3 изображен один однофазный кабель и контур, в жиле которого протекает переменный ток. Переменное магнитное поле тока  $I_{ж}$  перпендикулярно плоскости листа и направленно так, как показано на рисунке точками и крестиками.

Магнитное поле пронизывает контур, образованный экранами фаз «А» и «В», и наводит в нем переменную эдс  $E_{э}$ . Поскольку экранный контур замкнут, то под действием эдс в нем протекает ток  $I_{э}$  той же частоты, что и переменный ток жилы кабеля. Направление протекания переменного тока в экранном контуре таково, что магнитное поле этого тока препятствует изменению магнитного поля жилы, т.е. направлено встречно по отношению к переменному магнитному полю жилы. [1]

Аварийный режим возникает при значительных возмущениях (авариях) в электрической системе, например - короткое замыкание.

Короткое замыкание – электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными значениями потенциала нарушающее нормальную работу. Короткое замыкание может возникать в результате нарушения изоляции токоведущих

элементов или механического соприкосновения неизолированных элементов. Также коротким замыканием называют состояние, когда сопротивление нагрузки меньше внутреннего сопротивления источника питания. [2]

При повреждении изоляции принято рассматривать следующие виды короткого замыкания:

- однофазное на землю;
- двухфазное на землю;
- двухфазное;
- трехфазное.

Однофазное короткое замыкание на землю (ОЗЗ) – повреждение на линии электропередач, при котором фаза замыкается на землю или на элемент электрически связанный с землей. [3]

Двухфазное короткое замыкание на землю – замыкание между двумя фазами с одновременным замыканием той же точки на землю.

Двухфазное короткое замыкание (между фазами) – замыкание между двумя фазами.

Трехфазное короткое замыкание на землю – замыкание между тремя фазами с одновременным замыканием той же точки на землю.

В сетях с номинальным напряжением 3; 6; 10; 35 кВ замыкание одной фазы на землю называется простым, такое замыкание имеет наибольшую вероятность; при этом она возрастает с увеличением класса напряжения сети. Это обусловлено увеличением междуфазного расстояния (в среднем 0,7 м в сети 6 – 10 кВ). В процессе развития аварии первоначальный вид короткого замыкания переходит в другой. Так, например, однофазное КЗ на землю может перейти в двухфазное на землю.

Двухфазное короткое замыкание между двумя фазами – несимметричный процесс, который вызывает перекос перенапряжений в системе. При возникновении двухфазного короткого замыкания есть большая вероятность его перехода в трехфазное, поскольку из-за термического воздействия тока разрушается изоляция токоведущих частей.

Наименьшую вероятность имеет трехфазное КЗ на землю. Однако оно связано с наиболее тяжелыми последствиями. Трехфазное короткое замыкание является симметричным, поскольку при нем все фазы находятся в одинаковых условиях. Изучение и расчет других видов КЗ начинается с трехфазного, в силу его относительной простоты по сравнению с другими видами несимметрии. Применение метода симметричных составляющих позволяет ток прямой последовательности любого несимметричного замыкания, определить как трехфазного КЗ в фиктивной точке, удаленной от реальной точки КЗ на дополнительное сопротивление. [2]

В дальнейших расчетах будут учитываться только однофазное и двухфазное короткие замыкания на землю, поскольку экран однофазного кабеля заземлен и двухфазное короткое замыкание между фазами без земли внутри кабеля невозможно, а так как двухфазное короткое замыкание невозможно - трехфазное является крайне маловероятным, поэтому им можно пренебречь.

### **1.3. Оценка термической стойкости**

Термическая стойкость – способность экрана без разрушения, либо без значительного снижения своих свойств выдерживать протекание токов короткого замыкания, при этом обеспечивая нагрев экрана до температуры, не превышающей максимально допустимые значения.

Повреждение изоляции «жила – экран» однофазного кабеля приводит к протеканию в соответствующем экране тока короткого замыкания. Этот ток, вызывает нагрев экрана и примыкающей к нему изоляции кабеля. На время короткого замыкания температура экрана кабеля, имеющего изоляцию из сшитого полиэтилена, не должна достигать 350 °С, иначе будет происходить снижение срока службы изоляции или его разрушение.

Учитывая большую вероятность возникновения однофазного короткого замыкания на землю в одножильных силовых кабелях и заземление экрана на двух концах линии, что способствует протеканию тока в экране сопоставимого с током в



жиле, при проектировании кабельной линии необходимо проверять термическую стойкость экрана при аварийных режимах.

При повреждении изоляции ток короткого замыкания из жилы попадает в экран и далее в заземляющее устройство экрана, т.е. протекает по экрану. Если сечение экрана не соответствует величине тока и длительности его протекания, то возможно термическое разрушение экрана на значительном по длине отрезке кабеля.

Выбор сечения экрана однофазного силового кабеля не так однозначен. Среди существующих факторов, влияющих на величину сечения экрана, можно назвать необходимость снижения потерь мощности в нормальном режиме работы кабеля и требование обеспечить термическую стойкость экрана при повреждении изоляции «жила – экран», которое сопровождается протеканием в экране тока короткого замыкания. Данные факторы противоречат друг другу: с точки зрения нормального режима следует использовать кабели с минимальным сечением экрана, а с точки зрения короткого замыкания в кабеле – рационально использовать повышенные сечения экранов. [1]

## 2. Методическая часть

### 2.1. Проверка термической стойкости при ОЗЗ

При протекании тока короткого замыкания  $I_K$  за время короткого замыкания  $t_K$  в экране кабеля длиной  $l$  выделяется тепло:

$$Q = I_K^2 \cdot R_{\text{Э}} \cdot t_K,$$

где  $R_{\text{Э}} = \rho_{\text{Э}} \cdot \frac{l}{S_{\text{Э}}} \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - 20 \right) \right]$ , Ом – активное сопротивление экрана при средней температуре нагрева;  $S_{\text{Э}}$  и  $\rho_{\text{Э}}$  – сечение и удельное сопротивление экрана при 20 °С, мм<sup>2</sup> и мкОм·м.

Пусть критической температуре 350 °С нагрева экрана соответствует выделившееся в экране тепло  $Q_{\text{доп}}$ . Тогда сечение экрана должно обеспечивать выполнение неравенства  $Q \leq Q_{\text{доп}}$ , где  $Q_{\text{доп}}$  – допустимое тепло, отвечающее нагреву экрана до температуры  $T_2 = 350$  °С:

$$Q_{\text{доп}} = M \cdot C \cdot (T_2 - T_1),$$

где  $T_1$  – начальная температура экрана до короткого замыкания, в силовых кабеля с изоляцией СПЭ  $T_1 = 70^\circ\text{C}$ ;

$T_2$  – конечная температура экрана, допускается кратковременное воздействие нагретого до температуры  $T_2 = 350^\circ\text{C}$  экрана на большинство твердых органических диэлектриков, соприкасающихся с экраном, без существенного изменения их свойств и без возгорания;

$M = \gamma \cdot S_{\text{Э}} \cdot l$  - масса экрана;  $\gamma = 8,89 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  – плотность медного экрана;

$C = 0,453 \frac{\text{Вт}\cdot\text{с}}{\text{г}\cdot^\circ\text{C}}$  – удельная теплоемкость меди, при температуре  $300^\circ\text{C}$ .

При заданном сечении экрана для определения максимально допустимого тока короткого замыкания  $I_{\text{К}}$  можно записать уравнение  $Q = Q_{\text{доп}}$ :

$$\eta \cdot I_{\text{К}}^2 \cdot R_{\text{Э}} \cdot t_{\text{К}} = M \cdot C \cdot (T_2 - T_1), \quad (1)$$

где  $\eta = 0,9$  – коэффициент, учитывающий долю выделяемого тепла, идущую на нагрев экрана;

Из (1) выразим значение тока короткого замыкания, подставив все значения, (А):

$$I_{\text{К}} = S_{\text{Э}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot C}{\eta \cdot t_{\text{К}} \cdot \rho_{\text{Э}}} \cdot \frac{T_2 - T_1}{\left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - 20\right)\right]}} = 203 \cdot S_{\text{Э}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t_{\text{К}}}} \quad (2)$$

Формула (3) позволяет выбрать достаточное сечение экрана  $S_{\text{Э}}$  на основе информации о токах  $I_{\text{К}}$  и времени  $t_{\text{К}}$  их отключения релейной защитой.

$$S_{\text{Э}} \geq \frac{I_{\text{К}}}{0,203} \cdot \sqrt{t_{\text{К}}} \quad (3)$$

При выборе сечения экрана используется суммарный ток короткого замыкания сети. Если этот ток короткого замыкания при повреждении изоляции вблизи от начала кабеля отличается от тока при повреждении изоляции вблизи от конца кабеля, то используют наибольшее значение тока.

Для радиальной сети в расчеты закладывается суммарный ток короткого замыкания при повреждении на шинах, так как он больше тока короткого замыкания при повреждении на нагрузке.

Для классов напряжения 6 – 35 кВ при способах заземления нейтрали изолированном, компенсированном, а также высокоомным резистором, ток короткого замыкания, используемый в формуле (3) следует принимать  $0,87 \cdot I_K$ . [1, с 103]

## 2.2. Проверка термической стойкости при ДЗЗ

Согласно [5], ток, протекающий в экране кабеля, при двойном коротком замыкании рассчитывается по формуле:

$$I_{2К} = \frac{K_{п.н.} \cdot U_n}{\sqrt{X_{2c}^2 + R_K^2}}, \quad (4)$$

где  $I_{2К}$  – ток двойного замыкания на землю, кА;

$K_{п.н.} = 1,05$  – коэффициент перенапряжения;

$U_n$  – номинальное напряжение сети, кВ;

$X_{2c}$  – реактивное сопротивление электрической системы при двойном КЗ на землю, Ом;

$R_K$  – сопротивление кабельной линии, Ом

Реактивное сопротивление определяется по формуле:

$$X_{2c} = \frac{2 \cdot K_{п.н.} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}^{(3)}} = 1,2 \cdot \frac{U_n}{I_{КЗ}^{(3)}}$$

где  $I_{КЗ}^{(3)}$  – ток трехфазного короткого замыкания в голове линии на шинах питающей станции.

Сопротивление кабельной линии (Ом):

$$R_K = \left( R_{\text{ж}} + \frac{m \cdot R_{\text{э}}}{3} \right) \cdot l = (R_{\text{ж}} + 0,3 \cdot R_{\text{э}}) \cdot l,$$

где  $R_{\text{ж}}$  – сопротивление жилы кабеля при  $T=90$  °С, мОм/м;

$R_{\text{э}}$  – сопротивление экрана кабеля при  $T=70$  °С, мОм/м;

$m=0,9$  – коэффициент тока в экране;

$l$  – длина кабельной линии, км.

Ток в экране при двойном замыкании на землю определяется по следующей формуле, кА:

$$I_{\text{э}} = \frac{m \cdot I_{2\text{ж}}}{3}, \quad (5)$$

Минимально допустимое сечение одножильного кабеля при двойном коротком замыкании определяется по формуле:

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{э}}}{227 \cdot \sqrt{A}}, \quad (6)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции кабеля и используемых материалов

Коэффициент  $A$  равен, км/с:

$$A = \frac{l}{t_{\text{к}}} \cdot \frac{T_2 - 20 + \frac{1}{\alpha}}{T_1 - 20 + \frac{1}{\alpha}}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления металла экрана,  $1/^\circ\text{C}$ . Для меди  $\alpha = 0,003931$   $1/^\circ\text{C}$

Подставив в (6) формуле (7) и упростив ее, получим:

$$S_{\text{э}} = 5,5 \cdot I_{\text{э}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{к}}}{l}}. \quad (8)$$

Для расчета минимально допустимого сечения экрана при двойном коротком замыкании, необходимы следующие исходные данные:

- сопротивление жилы кабеля;

- сопротивление экрана кабеля;
- время срабатывания релейной защиты;
- длина кабеля;
- номинальное напряжение;
- ток трехфазного короткого замыкания.

Сопротивления экрана и жилы для заданной температуры вычисляются по следующим формулам:

для медной жилы (экрана), Ом/км:

$$R_t = R_{20} \cdot \frac{234,5 + T}{254,5};$$

для алюминиевой жилы, Ом/км:

$$R_t = R_{20} \cdot \frac{228 + T}{254,5},$$

где  $R_{20}$  – сопротивление при 20 °С, выбирается по [6].

### 3. Получение результатов

#### Исходные данные

Силовой одножильный кабель марки АПвПуг – 10 кВ (1x185/25)

$U_n = 10$  кВ.

По данным МОЭСК:

$I_{КЗ}^{(3)} = 15$  кА – ток трехфазного короткого замыкания на шинах распределительной трансформаторной подстанции;

$t_K = 1$  с – время срабатывания защиты;

$l = 0,5$  км – длина кабельной линии.

#### 3.1. Расчет термической стойкости экрана при ОЗЗ

Ток, протекающий в экране одножильного кабеля равен, при однофазном коротком замыкании равен, кА:

$$I_K = \frac{I_{K3}^{(3)} \cdot 0,87}{3}$$

Подставив полученное данное выражение тока в (3) получим минимально допустимое сечение экрана, мм<sup>2</sup>:

$$S_{Э\text{мин}} = \frac{I_{K3}^{(3)} \cdot 0,87}{0,203 \cdot 3} \cdot \sqrt{t_K} = \frac{15 \cdot 0,87}{0,203 \cdot 0,87} \cdot \sqrt{1} = 21,4$$

$$S_{Э} \geq S_{Э\text{мин}}$$

Сечение экрана  $S_{Э} = 25 \text{ мм}^2$  удовлетворяет термической стойкости при однофазном коротком замыкании.

### 3.2. Расчет термической стойкости экрана при ДЗЗ

Чтобы рассчитать ток при двойном замыкании на землю по (4), необходимо вычислить реактивное сопротивление и сопротивление кабельной линии.

Вычислим реактивное сопротивление, Ом:

$$X_{2c} = 1,2 \cdot \frac{U_H}{I_{K3}^{(3)}} = 1,2 \cdot \frac{10}{15} = 0,81$$

Для расчета сопротивления кабеля требуется определить сопротивление жилы и экрана при температурах 90 и 70 °С соответственно.

Сопротивление алюминиевой жилы при 90 °С, Ом:

$$R_{90} = R_{20} \cdot \frac{228 + T}{254,5} = 0,164 \cdot \frac{228 + 90}{254,5} = 0,205$$

Сопротивление медного экрана при 70 °С, Ом:

$$R_{70} = R_{20} \cdot \frac{234,5 + T}{254,5} = 0,727 \cdot \frac{234,5 + 70}{254,5} = 0,85$$

Сопротивление кабельной линии, Ом :

$$R_K = (R_{ж} + 0,3 \cdot R_{Э}) \cdot l = (0,205 + 0,3 \cdot 0,85) \cdot 0,5 = 0,23$$

Подставляем полученные значения в (4) и получим ток двойного замыкания в жиле кабеля, кА:

$$I_{2K} = \frac{K_{п.н.} \cdot U_H}{\sqrt{X_{2c}^2 + R_K^2}} = \frac{1,05 \cdot 10}{\sqrt{0,81^2 + 0,7^2}} = 12,5$$

Для расчета тока в экране, используем формулу (5), кА:

$$I_{\text{э}} = \frac{m \cdot I_{2K}}{3} = \frac{0,9 \cdot 12,94}{3} = 3,75$$

Минимальное сечение экрана при протекании в нем двойного короткого замыкания, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{эмин}} = 5,5 \cdot I_{\text{э}} \cdot \sqrt{\frac{t_K}{l}} = 5,5 \cdot 3,75 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,5}} = 29,155$$

Как видно  $S_{\text{э}} = 25$  не удовлетворяет минимальному сечению, следовательно кабель удовлетворяет термической устойчивости при двойном коротком замыкании.

### 3.3. Расчет термической стойкости при различных переменных

Проанализировав расчетные формулы можно сделать вывод, что на значение минимального сечения экрана при однофазном коротком замыкании на землю влияет время срабатывания релейной защиты, а при двойном коротком замыкании на землю – длина кабельной линии.

Проведем расчет проверки термической стойкости при различных значений времени срабатывания релейной защиты для однофазного короткого замыкания на землю и при различных длинах кабельной линии для двойного короткого замыкания на землю.

Результаты расчета приведены в таблице 1 и 2:

Таблица 1 – Оценка термической стойкости экранов при однофазном коротком замыкании на землю с различными значениями времени протекания тока КЗ по экрану, заданное сечение экрана  $S_{Э}=25 \text{ мм}^2$

$t_{К}, \text{с}$	$S_{Э\text{мин}}, \text{мм}^2$	Удовлетворяет термической стойкости
1	21,4	да
2	30,3	нет
3	37,1	нет

По данным таблицы 1 видно, что термическая устойчивость выполняется только при срабатывании защиты за 1 с.

Таблица 2 – Оценка термической стойкости экранов при двойном КЗ на землю при различных длинах кабельной линии

$l, \text{м}$	$S_{Э\text{мин}}, \text{мм}^2$	Удовлетворяет термической стойкости
1000	18,6	да
900	20,1	да
800	21,8	да
700	23,8	да
600	26,2	нет
500	29,2	нет
400	33,0	нет
300	38,6	нет
200	47,6	нет
100	67,7	нет

По результатам таблицы 2 видно, что с уменьшением длины кабельной линии минимальное сечение экрана увеличивается.



Используя данные таблицы 1 и 2 построим график зависимости минимально допустимого сечения экрана от длины кабельной линии для решения задачи графо – аналитическим методом.

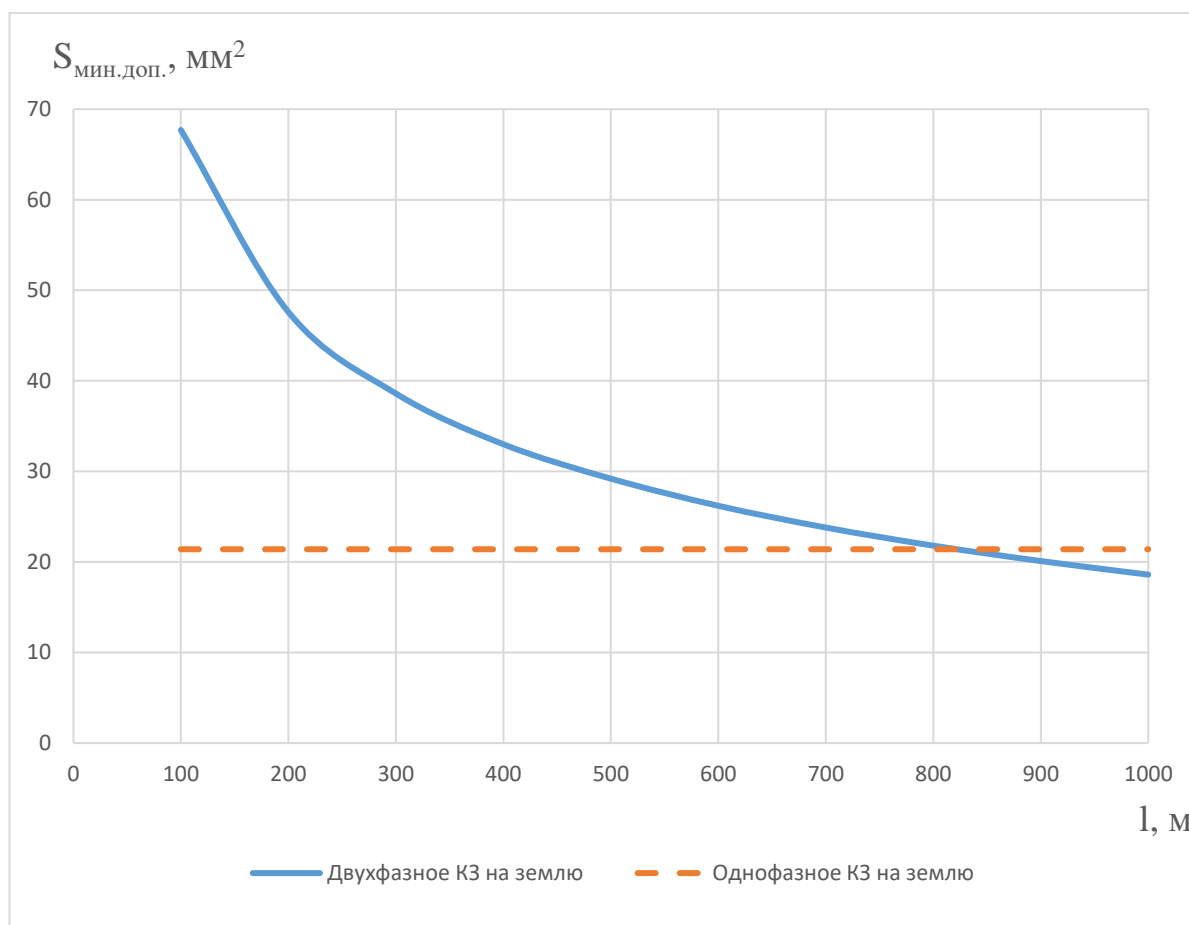


Рисунок 4 – График зависимости минимально допустимого сечения экрана от длины кабельной линии

Из построенного графика видно, что имеется точка пересечения зависимостей благодаря которой можно рассуждать так: недостаточно производить проверку на термическую стойкость экрана только при двухфазном коротком замыкании, т.к. при определенном значении длины кабеля минимально допустимое сечение при однофазном коротком замыкании на землю будет больше чем при двухфазном.

Для экономии времени и простоты проверки экрана на термическую стойкость при двухфазном коротком замыкании на землю упростим его вычисление.

Имеются две формулы для расчета стойкости экрана при однофазном и двойном КЗ на землю. В первой и во второй формулах имеется время срабатывания защиты  $\sqrt{t_K}$ , попробуем выразить его и приравнять друг к другу две формулы:

Из формулы при ОЗЗ:

$$\sqrt{t_K} = \frac{S_{\text{Эмин1}} \cdot 0,203 \cdot 3}{I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot 0,87}$$

Из формулы при ДЗЗ:

$$\sqrt{t_K} = \frac{S_{\text{Эмин2}} \cdot \sqrt{l}}{5,5 \cdot I_3}$$

Распишем  $I_3$ :

$$\sqrt{t_K} = \frac{S_{\text{Эмин2}} \cdot \sqrt{l}}{5,5 \cdot 0,3 \cdot \frac{K_{\text{п.н.}} \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{K_{\text{п.н.}}^2 \cdot U_{\text{н}}^2}{I_{\text{КЗ}}^{(3)2}} + (R_{\text{ж}} + 0,3 \cdot R_3)^2 \cdot l^2}}}$$

Приравняем друг к другу  $\sqrt{t_K}$ :

$$\frac{S_{\text{Эмин1}} \cdot 0,203 \cdot 3}{I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot 0,87} = \frac{S_{\text{Эмин2}} \cdot \sqrt{l}}{5,5 \cdot 0,3 \cdot \frac{K_{\text{п.н.}} \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{K_{\text{п.н.}}^2 \cdot U_{\text{н}}^2}{I_{\text{КЗ}}^{(3)2}} + (R_{\text{ж}} + 0,3 \cdot R_3)^2 \cdot l^2}}}$$

Выразим  $S_{\text{Эмин2}}$ :

$$S_{\text{Эмин2}} = \frac{S_{\text{Эмин1}} \cdot 0,203 \cdot 3 \cdot 5,5 \cdot 0,3 \cdot K_{\text{п.н.}} \cdot U_{\text{н}}}{I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot 0,87 \cdot \sqrt{l} \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{K_{\text{п.н.}}^2 \cdot U_{\text{н}}^2}{I_{\text{КЗ}}^{(3)2}} + (R_{\text{ж}} + 0,3 \cdot R_3)^2 \cdot l^2}}$$

Упростим полученное выражение:

$$S_{\text{Эмин2}} = \frac{12,2 \cdot S_{\text{Эмин1}}}{\sqrt{147 \cdot l + l^3 \cdot [I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot (R_{\text{ж}} + 0,3 \cdot R_{\text{э}})]^2}} \quad (9)$$

Полученная формула имеет в себе все переменные необходимы для расчета минимально допустимого сечения для ДЗЗ, проверив экрана кабеля на ОЗЗ, можно подставить полученное значение  $S_{\text{Эмин1}}$  в формулу (9) и осуществить проверку термической стойкости при ДЗЗ.

Для проверки формулы проверим на термическую стойкость наш кабель при различных сечениях жилы и экрана.

Учитывая ГОСТ Р 55025 – 2012 [4] подберем различные сечения жил и экранов кабеля и рассчитаем минимальное сечение экранов.

При секундном КЗ ОЗЗ останется неизменным:

$$S_{\text{Эмин}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot 0,87}{0,203 \cdot 3} \cdot \sqrt{t_{\text{к}}} = \frac{15 \cdot 0,87}{0,203 \cdot 0,87} \cdot \sqrt{1} = 21,4$$

$$S_{\text{Эмин2}} = \frac{12,2 \cdot S_{\text{Эмин1}}}{\sqrt{147 \cdot l + l^3 \cdot [I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot (R_{\text{ж}} + 0,3 \cdot R_{\text{э}})]^2}} =$$

$$= \frac{12,2 \cdot 21,4}{\sqrt{147 \cdot 0,5 + 0,5^3 \cdot [15 \cdot (0,205 + 0,3 \cdot 0,85)]^2}} = 29,2$$

Результат расчета по выведенной формуле совпал с предыдущим результатом, следовательно - формула верна. Подобным образом рассчитаем другие сечения, результаты сведем в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты проверки экранов кабеля на термическую стойкость при различных сечениях жилы и экрана кабеля

$S_{\text{ж}}, \text{мм}^2$	$S_{\text{э}}, \text{мм}^2$	$S_{\text{Эмин}}, \text{мм}^2$	Удовлетворяет термической стойкости
185	25	29,2	нет
240	25	29,4	нет

Продолжение таблицы 3

240	35	29,7	да
300	35	29,8	да
300	50	29,9	да
400	50	30	да
400	70	30,1	да
400	95	30,2	да

Из полученных результатов, приведенных в таблице 3, видно, что увеличение сечений жилы и экрана не значительно изменяет допустимые значения. Следовательно, при увеличении сечения экрана, кабель удовлетворяет термической стойкости.

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

Целью раздела является оценка экономической эффективности технического проекта, который выполняется в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

В данном разделе рассматриваются следующие задачи:

- Составление SWOT-анализа методики расчета термической стойкости экрана кабеля;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

##### **4.1. SWOT-анализ методики расчета термической стойкости экрана кабеля**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

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

Сильные стороны характеризуют конкурентоспособную сторону технического проекта. Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность технического проекта, которые препятствуют достижению его целей. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта. Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. [8]

Результаты SWOT–анализа технического проекта приведены в таблице:

Таблица 4 - Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>          С1. Актуальность проблемы;          С2. Доработка недостающей информации о методике расчета проволочных экранов;          С3. Не требует доработки оборудования при производстве нового кабеля;          С4. Наглядность исполняемых действий;</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>          Сл1. Затраты времени на анализ и теоретической части;          Сл2. Расчет новой методики в соответствии с ГОСТ;          Сл3. При обеспечении безопасности кабеля, снижается его энергоэффективность.</p>
<p><b>Возможности:</b>          В1. Использование методики расчета при проектировании кабельных линий;          В2. Упрощение расчета экрана для двух режимов КЗ;          В3. Увеличение срока службы кабеля за счет его стойкости к аварийным режимам;          В4. Спрос на данный метод расчета для экономии времени расчета экранов кабелей.</p>	<p>Металлические экраны используется во всех одножильных кабелях среднего напряжения, их проверка на термическую стойкость актуальна в широкой области применения.          Данный метод расчета учитывает два режима короткого замыкания, что увеличит срок службы кабельной линии.</p>	<p>Слабые стороны проекта компенсируются его результатом. При определении расчетного коэффициента, расчет экрана упростится вплоть до подстановки некоего значения в уже используемую формулу, что сократит время для проектировщиков.</p>

Продолжение таблицы 4

<p><b>Угрозы:</b>          У1. Отсутствие спроса на предложенную методику расчета.          У2. Введение дополнительных требований для расчета экрана;          У3. Угрозы затрат на материал экрана при обеспечении его безопасности</p>	<p>Отсутствие спроса и увеличение затрат на материал экрана кабеля, компенсируется увеличением надежности и срока эксплуатации кабеля.</p>	<p>Не каждое предприятие готово переплатить за безопасность кабельной линии от аварийных случаев, которые могут вовсе не произойти.</p>
---	--	---

На основании таблицы SWOT строится интерактивная матрица проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие).

Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей проекта

Возможности	Сильные стороны				Слабые стороны		
	С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
В1	+	+	+	+	-	+	-
В2	+	+	+	+	-	-	-
В3	+	-	+	+	-	+	-
В4	+	+	+	+	-	-	-

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз проекта

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

Как видно из SWOT-анализа, представленного в таблицах 4, 5 и 6, можно сделать вывод, что слабые стороны характеризуют процесс реализации проекта, т.е. после получения конечного результата они будут не актуальны, когда как его сильные стороны заключаются в использовании полученного результата проектировщиками. Угрозы проекта заключаются в

дополнительных затратах на материал экрана для обеспечения его надежности. Однако если проверить кабель на термическую стойкость экрана и спроектировать его соответствующим образом, то увеличится не только его надежность, но и срок эксплуатации. В случае несоответствии термической стойкости экрана при аварийной ситуации конструкция кабеля может быть разрушена и будет необходима замена кабельной линии внушительной длины, а это приводит к еще большим затратам. Это говорит о том, что разработка методики расчета стойкости экранов для увеличения его срока эксплуатации является рентабельной.

#### **4.2. Планирование 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 проектирования.

#### **4.3. Структура работ в рамках технического проектирования**

Для выполнения выпускной квалификационной работы формируется группа, в состав которой входят научный руководитель (НР) и студент-дипломник (СД). Составляется перечень этапов и работ в рамках проектирования.

Выполняются следующие виды работ:

1. Составление и утверждение технического задания – научный руководитель подбирает тему технического задания, основываясь на ее новизну и актуальность;
2. Обзор научной и технической литературы – научный руководитель рекомендует литературу, связанную с выбранной темой, для ознакомления студента-дипломника с выбранной темой;

3. Выбор направления проекта – проанализировав литературу и общую тему задания, студент дипломник ставит задачу для выполнения технического проекта;
4. Рассмотрение существующих расчетных методов – для создания чего-то нового, необходимо ознакомиться со старым. На сегодняшний день, при проектировании кабельных линий (КЛ), оценка термической стойкости осуществляется только на однофазное КЗ;
5. Обзор конструкции силовых кабелей среднего напряжения – для того, чтобы понять, как рассчитать элемент кабеля, нужно ознакомиться с его конструкцией в целом;
6. Обзор режимов работы кабельных линий – рассматриваются все режимы работы КЛ: нормальные режимы, аварийные режимы, количество видов аварийных режимов и их вероятность возникновения;
7. Расчет необходимого сечения металлического экрана при КЗ – рассчитывается термическая стойкость экрана кабеля при всех видах КЗ;
8. Оценка термической стойкости металлических экранов – по итогам расчетов проводится анализ полученных результатов. Оцениваются моменты, когда кабель не соответствует термической стойкости, при каком виде КЗ кабель не прошел проверку, как часто такой вид КЗ случается на КЛ;
9. Оценка возможности получения коэффициента корреляции – для рекомендации и потребности проделанной работы, необходимо упростить расчетную часть, для этого необходимо оценить расчеты и вывести формулу для решения поставленной задачи в одно действие;
10. Составление пояснительной записки – по результатам и проделанной работе составляется пояснительная записка;
11. Подготовка к защите ВКР – после всей выполненной работы, студент дипломник должен презентовать ее комиссии грамотным техническим языком, с целью всеобщего понимания всех аспектов работы;
12. Защита ВКР.



Распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Перечень выполняемых работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления работы	2	Обзор научной и техничной литературы	Студент дипломник
	3	Выбор направления работы	Научный руководитель Студент дипломник
Проведение расчетов	4	Рассмотрение существующих расчетных методов	Студент дипломник
	5	Обзор конструкции силовых кабелей среднего напряжения	Студент дипломник
	6	Обзор режимов работы кабельных линий	Студент дипломник
	7	Расчет необходимого сечения металлического экрана при КЗ	Студент дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка термической стойкости металлических экранов	Студент дипломник Научный руководитель
	9	Оценка возможности получения коэффициента корреляции	Студент дипломник Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	10	Составление пояснительной записки	Студент дипломник
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите ВКР	Студент дипломник Научный руководитель
	12	Защита ВКР	Студент дипломник

#### 4.4. Определение трудоемкости выполнения работ

Одной из частей суммарной стоимости разработки являются трудовые затраты, для ее подсчета необходимо для каждого участника научного исследования определить трудоемкость работ.

Трудоемкость выполнения проекта измеряется в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  используется следующая формула [7]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (10)$$

где  $t_{ожи}$  – 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.

В таблице 8 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 8 - Трудоемкость выполнения работ

№	Наименование работ	Исполнители	Трудоемкость работ, раб.дн.			
			Минимально возможная	Максимально возможная	Ожидаемая	Продолжительность
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1	1	1	1
2	Обзор научной и техничной литературы	СД	3	6	4,2	4
3	Выбор направления исследований	НР	1	1	1	1
		СД	2	5	3,2	3
4	Рассмотрение существующих расчетных методов	НР	1	1	1	1
		СД	3	5	3,8	4

Продолжение таблицы 8

5	Обзор конструкции силовых кабелей среднего напряжения	СД	3	5	3,8	4
6	Обзор режимов работы кабельных линий	СД	7	10	8,2	8
7	Расчет необходимого сечения металлического экрана при КЗ	НР	1	1	1	1
		СД	20	25	20,8	22
8	Оценка термической стойкости металлических экранов	СД	10	18	13,2	13
		НР	1	1	1	1
9	Оценка возможности получения коэффициента корреляции	СД	20	25	19	22
		НР	2	2	2	2
10	Составление пояснительной записки	СД	10	20	14	14
		НР	1	1	1	1
11	Подготовка к защите ВКР	НР	1	3	1,8	2
		СД	7	10	8,2	8
12	Защита ВКР	СД	1	1	1	1

#### 4.5. Разработка графика проведения научного исследования

Построение ленточного графика проведения научных работ в форме Ганта является одним из наиболее наглядных и удобных способов построений.

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

График строится на основе таблицы 5 с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. График представлен в таблице 9.



Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает ~13 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая второй декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 105 дня. Из них:

- 103 дня – продолжительность выполнения работ студента;
- 10 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя;

#### **4.6. Смета технического проекта**

При планировании сметы технического проекта должно обеспечиваться полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования используется следующая группировка затрат по статьям:

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

#### **4.7. Зарплата исполнителей темы**

Полная заработная плата включает в себя основную и дополнительную заработную плату и определяется по формуле:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (11)$$

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

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

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (12)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среддневная заработная плата работника, руб;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{рк}}}{F_{\text{д}}}, \quad (13)$$

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

$Z_{\text{рк}}$  – надбавка по районному коэффициенту, руб.

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

$$Z_{\text{рк}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{рк}}, \quad (14)$$

где  $k_{\text{рк}}$  – коэффициент надбавки, для г. Томска равен 0,3.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}, \quad (15)$$

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 10.

Таблица 10 – 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.
Научный руководитель	33664	10099	43758	1683	10	16830
Студент дипломник	12300	3690	15990	615	101	62115
Итого						78945

Расчет полной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты,	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Научный руководитель	0,15	16830	2525	19300
Студент	0,12	62115	7454	69600
Итого		78945	9979	88900

#### 4.8. Страховые отчисления

Отчисления во внебюджетные фонды отражают 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 [7]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (16)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 88,9 = 26,7 \text{ руб.}$$

#### 4.9. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие подразделы расходов: печать и ксерокопирование материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, интернета, размножение материалов и т.д.

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

#### 4.10. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта.

Для составления итоговой величины затрат суммируются все ранее рассчитанные затраты по отдельным статьям как в отношении руководителя, так и инженера.

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 12.

Таблица 12 - Бюджет затрат технического проекта

Расходы	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Затраты на оплату труда	88,9	64,6
Отчисления во внебюджетные фонды	26,7	19,4
Накладные расходы	22,0	16,0
Итого	137,6	100,0

При планировании затрат для технического проекта была подсчитана общая сумма затрат для его реализации в размере 137,6 тыс. руб. Из таблицы 10 видно, что большую часть затрат составляют выплаты заработной платы исполнителям проекта.

#### 4.11. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности технического проекта, который находится по формуле [7]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (17)$$

$I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент;

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



Оценка проводится на основе нескольких критериев:

1. Термическая стойкость - одно из свойств экрана, характеризующее длительное протекание тока при КЗ;
2. Безотказность - это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.
3. Энергоэффективность - использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения;
4. Дешевизна - низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.
5. Долговечность - свойство кабеля, длительно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности по 5-ти балльной шкале приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Балльная оценка
Термическая стойкость	0,25	5
Безотказность	0,22	5
Энергоэффективность	0,13	3
Дешевизна	0,2	3
Долговечность	0,2	5
Итого	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составляет:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,22 \cdot 5 + 0,13 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 4,34.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и долговечности позволяют судить об необходимости проверки экранов на термическую стойкость.

### **Выводы по главе:**

- при планировании технических работ был разработан график занятости для студента и научного руководителя, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,34 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

## **5. Социальная ответственность**

### **Ведение**

В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с безопасностью в рабочем помещении, его правила эксплуатации при возникновении возможных опасных ситуаций.

Объект исследования – методика расчета термической стойкости металлического экрана одножильного кабеля при различных режимах короткого замыкания (КЗ) на землю. Для выполнения технического задания (ТЗ) проводились расчетно-аналитические методы. Экспериментальные установки и проведение испытаний не требуется. Работа выполнялась в учебной аудитории оборудованной компьютерной техникой.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при проведении исследований, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

#### **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей.

Основными задачами трудового законодательства являются создание необходимых правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений по:

- организации труда и управлению трудом;
- трудоустройству у данного работодателя;
- подготовке и дополнительному профессиональному образованию работников непосредственно у данного работодателя;

- социальному партнерству, ведению коллективных переговоров, заключению коллективных договоров и соглашений;
- участию работников и профессиональных союзов в установлении условий труда и применении трудового законодательства в предусмотренных законом случаях;
- материальной ответственности работодателей и работников в сфере труда;
- государственному контролю (надзору), профсоюзному контролю за соблюдением трудового законодательства (включая законодательство об охране труда) и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права;

Правовую основу охраны окружающей среды в стране и обеспечения необходимых условий труда составляет Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», в соответствии с которым введено санитарное законодательство, включающее указанный закон и нормативные акты, устанавливающие критерии безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности. Ряд требований по охране труда и окружающей среды зафиксирован в Федеральном законе РФ «О техническом регулировании», Федеральном законе «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», законе РФ «О защите прав потребителей».

Важнейшим законодательным актом, направленным на обеспечение экологической безопасности, является Федеральный закон «Об охране окружающей среды»

Правовую основу организации работ в чрезвычайных ситуациях и в связи с ликвидацией их последствий составляют Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Федеральный закон «О пожарной безопасности», Федеральный закон «Об использовании атомной энергии». Среди

подзаконных актов в этой области отметим постановление Правительства РФ «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

### **Специальные правовые нормы трудового законодательства.**

Выполнение технического задания осуществлялось сидя за столом с использованием компьютера. Режимы труда и отдыха при работе с ПЭВМ и ВДТ должны организовываться в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы:

- группа А - работа по считыванию информации с экрана ВДТ или ПЭВМ с предварительным запросом;
- группа Б - работа по вводу информации;
- группа В - творческая работа в режиме диалога с ЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ и ВДТ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ВДТ и ПЭВМ, которые определяются: для группы А - по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б - по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В - по суммарному времени непосредственной работы с ВДТ и ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 часов за смену.

Для инженеров, обслуживающих учебный процесс в кабинетах (аудиториях) с ВДТ и ПЭВМ, продолжительность работы не должна превышать 6 часов в день.

Продолжительность обеденного перерыва определяется действующим законодательством о труде и Правилами внутреннего трудового распорядка предприятия (организации, учреждения).

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей, на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы.

Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часов. [9]

### **Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.**

Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. [10]

### **Эргономические требования к рабочему месту исследователя.**

Рабочее место – это часть рабочего пространства, которая оснащена необходимыми средствами труда.

Организация рабочего места тесно взаимосвязана с формами и методами организации труда. Эта взаимосвязь выражена в организации трудового процесса, так как, осуществляя рационализацию процессов и приемов труда, можно устранить лишнее физическое напряжение научного работника, достигнуть сокращения и уплотнения движений, а также определить потребность в оснащении рабочего места устройствами и приспособлениями, способствующими экономии рабочего времени.

Под организацией рабочего места следует понимать систему мероприятий по созданию на рабочем месте условий, необходимых для достижения высокой производительности труда при наиболее полном использовании технических возможностей оборудования, способствующего снижению утомляемости и сохранению здоровья человека.

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

Главными элементами рабочего места исследователя являются стол, кресло и компьютер. Основным рабочим положением является положение сидя.

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

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

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

## **5.2. Производственная безопасность**

Существует ряд факторов, которые могут привести к опасности для здоровья во время проведения работ в исследовательских лабораториях.

Данные факторы могут привести к возникновению несчастных случаев, профессиональных заболеваний, а также пожаров и взрывов.

Таблица 14 – Опасные и вредные факторы при исследовании

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Расчет	Эксплуа тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+		ГОСТ 12.1.005-88 [13]
2.Превышение уровня шума	+	+		ГОСТ 12.1.003-83 [14]
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+		+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [12]
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 [15]
5.Психофизиологические факторы	+	+		СанПиН 2.2.4.3359-16 [16]
6.Поражение электрическим током	+	+		ГОСТ Р 12.1.019 – 2009 [17]

## **Анализ опасных и вредных производственных факторов**

### *Микроклимат*

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

1. температура воздуха;
2. относительная влажность воздуха;
3. скорость движения воздуха;

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцированно для постоянных и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения



воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, указанным в таблице 15.

Таблица 15 - Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура Поверхностей, °С
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин	
Холодный	Ia (до 139)	20-21,9	24,1-25	19-26
	Iб (140-174)	19-20,9	23,1-24	18-25
Теплый	Ia (до 139)	21-22,9	25,1-28	20-29
	Iб (140-174)	20-21,9	24,1-28	19-29

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия. Температура воздуха в помещении зависит, в основном от производственного процесса, при осуществлении которого, выделяется тепло. Рабочее помещение, где проводилось выполнение технического задания, относится к легкой категории (категория I). Температура воздуха в холодный период года составляет 21-24°С, в теплый период 22-25°С.

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

Для обеспечения чистоты воздуха, выполнения требований норм к его температуре и влажности используются также специальные системы: вентиляции, кондиционирования, отопления.

#### *Превышение уровней шума*

Превышение уровня шума способствует негативному влиянию на здоровье человека, а также рассматривается как звук, мешающий разговорной речи.

Шумы могут возникать от внутренних и внешних источников. К внутренним источникам можно отнести шумы от осветительных приборов дневного света, шумы от компьютера и т.д.

В рабочем помещении источником шума является компьютер. Уровень его шума примерно равен 30дБА, что не превышает 50дБА, а значит соответствует нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

#### *Повышенный уровень электромагнитных излучений*

При продолжительной работе за компьютером можно получить повышенный уровень электромагнитных излучений. В СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 имеются требования допустимого уровня электромагнитных полей создаваемых персональным компьютером (таблица 16).

Таблица 16 - Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ 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
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Согласно таблице 3 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В.

Конструкция ВДТ и ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии

0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч (100 мкР/ч). Предел дозы облучения для работников составляет 0,5 бэр/год.

#### *Освещение на рабочем месте*

Недостаточное освещение рабочего места способствует ухудшению зрения и пагубно влияет на состояние нервной системы. Усталость органов зрения зависит от таких факторов, как недостаток света, либо его чрезмерная освещенность и неправильное направление. Нормальная освещенность достигается либо за счет естественного света в дневное время, либо за счет правильно распределенного искусственного освещения.

В учебной аудитории в качестве источника искусственного света используются светодиодные лампы. Светодиодные лампы по спектральному составу более других видов ламп, близки к естественному.

#### *Психофизиологические факторы*

При длительной и монотонной сидячей работе могут возникнуть такие вредные психофизиологические факторы как: утомляемость, головные боли, боли в спине и мышцах шеи, снижение концентрации. Длительная и интенсивная работа может стать источником профессиональных заболеваний.

#### *Поражение электрическим током*

Во время работы за компьютером в учебной аудитории возможно поражение человека электрическим током при прикосновении к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящимся под напряжением; при прикосновении к нетокковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции.

### **Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

#### **Микроклимат**

Для поддержания нормальной температуры воздуха в холодный период времени в аудитории предусмотрены батареи центрального отопления,

кондиционирование воздуха в теплый период. Для обеспечения нормальной воздушной среды используется вентиляция.

Относительная влажность воздуха в рабочем помещении составляет 40-60%, что удовлетворяет оговоренным нормам. Вентиляция осуществляется путем открывания дверного и оконного проема.

### **Шум**

При выполнении технического проекта, техника (компьютер) производит мало шума, поэтому в аудитории достаточно использовать в качестве звукопоглощения запирающие двери.

### **Освещение**

Освещенность рабочего места должна быть не менее 300÷500 лк [12]. Для обеспечения нормальной освещенности необходимо совмещать естественное освещение дневным искусственным, либо использовать местное освещение рабочего стола.

### **Психофизиологические факторы**

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

### **Электробезопасность**

Описываемое помещение имеет тип электробезопасности 1 – без повышенной опасности.

Работа на ЭВМ подразумевает использование высокого напряжения блока питания и напряжения сети 380\220 В, которое может привести к поражению электрическим током. Источником поражения электрическим током могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, не заземленное оборудование и др.

Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов,

так и общее поражение организма. Самый опасный – переменный ток частотой 50 – 60 Гц.

Так как данное помещение относится к помещению без повышенной опасности, то согласно требованиям «Правил устройства электроустановок» необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования  $R_3 \leq 4$  Ом, безопасное значение напряжения до 36 В, а тока – 0,1 А;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и выше;
- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;
- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;
- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

### **5.3. Экологическая безопасность**

Специальных методов переработки в учебной аудитории требуют:

- Лампы искусственного освещения;
- Батарейки от различных электроприборов (настенные часы);
- Неисправный компьютер.

Во всех батарейках содержатся токсичные элементы, которые при попадании в почву и воздух наносят непоправимый вред здоровью человека. Например: свинец — поражает почки, печень и нервную систему, костные ткани, вызывает гибель клеток крови кадмий — вредит легким и почкам.

Светодиодные лампы, утратившие потребительские свойства, относятся к отходам IV класса опасности – малоопасным. Они не несут вреда окружающей среде, но их утилизация может быть полезна в качестве вторичной переработки.

Вред окружающей природе оказывают люминесцентные лампы, используемые в качестве дополнительного света. Они имеют в своем составе

ртуть. Среднее содержание ртути в одной лампочке составляет примерно 3-5 г. Присутствие ртути делает такой осветительный прибор очень опасным в случае, когда лампа была разбита. Ведь, как известно, ртуть накапливается в организме человека и не выводится из него. Впоследствии она способна стимулировать появление не только определенных нарушений здоровья, но и развитие хронических заболеваний. Наличие в устройстве токсичного металла диктует особые правила обращения и утилизации люминесцентных ламп. Утратившая потребительские свойства люминесцентная лампа является отходом 1го класса.

Ряд вредных компонентов для человека и окружающей среды имеет компьютер. В его состав входят:

- свинец;
- ртуть;
- никель и цинк;
- щелочи.

Утилизация неисправного компьютера включает в себя ряд мероприятий:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специальной переработке.

#### **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС - пожар, определение категории помещения по пожаробезопасности в котором происходят исследования, то есть учебный корпус НИ ТПУ и регламентирование мер противопожарной безопасности.

Пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения

предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационнотехническими мероприятиями.

Все учебные помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83. Эта задача решается как на стадии проектирования оборудования, так и в процессе его эксплуатации.

Пожар в учебной аудитории может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов). К причинам электрического характера относятся:

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

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

Причины возникновения короткого замыкания:

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

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

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

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Для снижения рисков возникновения пожаров и аварийных ситуаций на объектах нефтяной промышленности необходимо придерживаться правил проектирования зданий, сооружений, оборудования. Также обучить рабочий персонал и ответственных лиц правилам пожарной безопасности, осуществлять своевременный контроль по исполнению обязанностей. Также должны присутствовать системы сигнализации, зачастую не связанные с другими системами, газоанализаторы, сеть пожарных водопроводов, насосы и станции. При любых изменениях в работе такого оборудования уполномоченные лица обязаны уведомить органы Государственного пожарного надзора.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

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

Для тушения пожаров могут использоваться следующие огнетушители: углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим



временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Действие при аварии, пожаре, травме:

1. В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

2. В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

3. В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

#### **Вывод по главе:**

Основным фактором, влияющим на производительность людей, занимающиеся данным исследованием, являются комфортные и безопасные условия труда. Условия труда в рабочей аудитории характеризуются возможностью воздействия на исследователей следующих производственных факторов: шума, действие микроклимата и рабочего места. а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека.

## Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы была выполнена оценка термической стойкости проволочного экрана силового одножильного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ марки АПвПуг – 10 кВ. В ходе работы было объяснено протекание токов в экране, какие аварийные режимы актуальны для данного кабеля, дана оценка термической стойкости его экрана и проведены расчеты.

По результатам расчетов делается вывод, что экран кабеля необходимо проверять на термическую стойкость при двух видах короткого замыкания (ОЗЗ, ДЗЗ). Однофазное короткое замыкание сильно влияет на термическую стойкость экрана при медленном срабатывании релейной защиты. Двухфазное короткое замыкание оказывает сильное влияние на экран при низкой длине кабельной линии.

Результатом работы является не только рекомендация по проведению мероприятий проверки на термическую стойкость экрана, но и упрощенная формула проверки экрана кабеля на термическую стойкость при протекании в нем тока двойного короткого замыкания на землю, позволяющая при заданных значениях сопротивлений жилы и экрана, тока трехфазного короткого замыкания и длины кабельной линии.

Также была дана оценка экономической эффективности в разделе финансовый менеджмент при детальном рассмотрении планово-временных и материальных показателей процесса выполнения работы.

Рассматривались и вопросы, связанные с безопасностью в рабочем помещении, где проводились расчеты, его правила эксплуатации при возникновении возможных опасных ситуаций, опасные и вредные факторы, возникающие при проведении исследований.

## Список литературы:

1. Дмитриев, М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 154 с.
2. Готман В. И. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: Учеб. пособие – Томск Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 236 с.
3. Шуин В. А., Гусенков А. В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6 - 10 кВ. М.: НТФ «Энергопрогресс». / Приложение к журналу, «Энергетик», выпуск 11(35)
4. ГОСТ Р 55025 – 2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия.
5. Вихман А. Е. Проверка экранов одножильных кабелей 10 кВ с СПЭ – изоляцией на термическую стойкость при двойном коротком замыкании на землю // Научная статья, выпуск 3(33), 2010
6. ГОСТ 22483 – 2012 Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров.
7. Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие - М.: Издательство ТПУ, 2014. - 36 с.
8. Катькало В. С., Клемина Т. Н., Чайка В. А., Шемракова В. Н. SWOT-анализ: методические указания, 10е издание. Санкт-Петербург: Изд-во Высшая школа менеджмента, 2016. - 38 с.
9. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
10. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя.
11. ГОСТ Р ИСО 9241-7-2007. Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 7. Требования к дисплеям при наличии отражений.

12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно–вычислительным машинам и организации работы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.

13. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

14. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

15. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

16. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

17. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.