

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

---

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование влияния свойств проволочных экранов на величину потерь в силовых кабелях

УДК 621.315.211.032.25:537.868.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гринюк Михаил Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шуликин Сергей Николаевич			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Извеков Владимир Николаевич			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.			

Томск – 2017 г.

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

---

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ЭКМ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Гарганеев А.Г.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Гринюку Михаилу Сергеевичу

Тема работы:

**Исследование влияния свойств проволочных экранов на величину потерь в силовых кабелях**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

25.05.2017 №3648/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Учебные пособия  $U_n=10\text{кВ}$ $P=12,5\text{ кВт}$
--------------------------	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение материала по теме дипломной работы;</li> <li>2. Рассмотрение основных конструктивных элементов и материалов силового кабеля из сшитого полиэтилена и их назначение;</li> <li>3. Анализ потерь в экранах и их математическое описание;</li> <li>4. Обоснование критериев выбора проволочных экранов;</li> <li>5. Электрический расчет для определения номинального тока;</li> <li>6. Расчет термической стойкости экрана;</li> <li>7. Расчет коэффициента пропорциональности для выбора сечения экрана;</li> <li>8. Анализ полученных данных и выбор наилучших показателей;</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация выполненная в редакторе «Microsoft Power Point 2007»</p>
<p align="center"><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p align="center"><b>Раздел</b></p>	<p align="center"><b>Консультант</b></p>
<p align="center"><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p align="center">Ассистент кафедры менеджмента Грахова Елена Александровна</p>
<p align="center"><b>Социальная ответственность</b></p>	<p align="center">Доцент кафедры ЭБЖ Извеков Владимир Николаевич</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шуликин Сергей Николаевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гринюк Михаил Сергеевич		

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

Студенту:

Группа 5ГЗВ	ФИО Гринюк Михаил Сергеевич
----------------	--------------------------------

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

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

<ul style="list-style-type: none"> <li>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</li> </ul>	<p>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Нормы и нормативы расходования ресурсов</li> </ul>	<p>15 % доплаты и надбавки; 12-15 % дополнительная заработная плата; 30% районный коэффициент; 16% накладные расходы</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</li> </ul>	<p>Отчисления по страховым взносам составляют 30,2 % от ФОТ на 2017 год</p>

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

<ul style="list-style-type: none"> <li>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> </ul>	<p>Обоснование и SWOT-анализ научного исследования</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Планирование и формирование бюджета научных исследований</li> </ul>	<p>Формирование плана и графика разработки: (определение структуры работ, определение трудоемкости работ, разработка графика Ганта) Расчет сметы затрат: - материальные затраты; - оплата труда; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</li> </ul>	<p>Определение интегрального показателя ресурсоэффективности</p>

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- Матрица SWOT
- Диаграмма Ганта
- Бюджет проекта
- Оценка ресурсоэффективности

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

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гринюк Михаил Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗВ	Гринюк Михаил Сергеевич

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

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Оценка влияния электрических свойств материалов на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Вредные вещества;</i></li> <li>– <i>Микроклимат в помещении;</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Шум;</i></li> </ul> </li> <li>– <i>Освещение рабочей зоны.</i></li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Электробезопасность;</i></li> <li>– <i>Пожаробезопасность;</i></li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Анализ объекта воздействия на атмосферу;</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Выброс отходов.</i></li> </ul> </li> </ul>

(отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	– Наиболее вероятными ЧС при исследовании фторполимерной оболочки являются высвобождение в природную среду обитания больших количеств опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Перечень законодательных и нормативных документов.

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗВ	Гринюк Михаил Сергеевич		

## Реферат

Дипломная работа содержит 89 страниц текстового материала, 21 таблицу, 11 рисунков, 36 использованных источников. Графики и таблицы составлялись в графическо-расчетной программе ОС Windows Microsoft Excel, оформление текстового документа производилось в программе ОС Windows Microsoft Word.

Перечень ключевых слов: кабельное изделие, экран, проволочный, поливинилхлорид, потери, токовая нагрузка, термическая стойкость, коэффициент пропорциональности, экранирование, сшитый полиэтилен, силовые кабели.

Тема: Исследование влияния свойств проволочных экранов на величину потерь в силовых кабелях.

В процессе выполнения выпускной дипломной работы был проведен литературный обзор по данной теме. В работе были рассмотрены следующие вопросы: материалы, применяемые для изготовления кабельных изделий, существующие конструкции силовых кабелей из сшитого полиэтилена, математическое описание и физика процесса потерь, возникающих в экране. Также были определены основные критерии выбора экрана исходя из электрических и теплофизических свойств материала для экрана. В качестве материалов были выбраны медь, алюминий и их сплавы, такие как латунь и бронза.

В результате проделанной работы были получены зависимости номинального тока от удельных свойств материала, произведена сравнительная характеристика по сравнению с медным экраном. Также был произведен расчет коэффициента пропорциональности, по которому можно выбрать сечение экрана, не превышающее максимально допустимого. На основе полученных данных сделан вывод о сильных и слабых сторонах использования новых материалов в экране.

## **Список сокращений**

СПЭ – сшитый полиэтилен;

ПВХ - поливинилхлорид;

КЗ- короткое замыкание;

БПИ- бумажно пропитанная изоляция;

## **Оглавление**

ВВЕДЕНИЕ .....	11
1. Обзор литературы .....	13
1.1. Основные конструкционные элементы кабелей из сшитого полиэтилена и их назначение .....	13
1.2. Материалы .....	20
2. Методическая часть .....	24
2.1. Физика процессов и их математическое описание.....	26
2.2. Критерии выбора экрана .....	29
3. Получение результатов.....	33
3.1. Выбор сечения экрана .....	33
3.2. Определение номинального тока .....	35
3.3. Расчет коэффициента пропорциональности .....	40
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	44
4.1. Обоснование и SWOT-анализ научного исследования .....	44
4.2. Планирование научно-исследовательской работы.....	48
4.3. Составление сметы затрат на разработку научного исследования.....	54
4.4. Определение ресурсоэффективности исследования .....	59
5. Социальная ответственность .....	62
5.1. Анализ вредных факторов.....	63
5.2. Анализ опасных факторов.....	72
5.3. Экологическая безопасность .....	78
5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях.....	79
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:.....	87

## ВВЕДЕНИЕ

Кабельные изделия предназначены для передачи электрической энергии или информации на расстояние, т.е. для создания самых разнообразных электрических, электронных, радиотехнических и волоконно-оптических схем и цепей. Ни одно современное техническое устройство, работа которого связана с использованием электрических и электронных схем, не может работать без кабелей и проводов, которые образуют системы электроснабжения, информатики и управления работой этого устройства.

Технический прогресс в различных отраслях народного хозяйства вызвал рост потребности в кабельной продукции и необходимость создания новых типов кабелей и проводов с более высокими характеристиками.

Современная кабельная техника характеризуется применением высоких напряжений и высоких частот, увеличением передаваемых мощностей, созданием кабелей и проводов для работы в условиях высоких и низких температур, высокой влажности окружающей среды, воздействия радиации и химически активных веществ, наличия вибрации и т.п. Повышенные требования к свойствам кабелей и проводов ограничивают возможность их удовлетворения с использованием существующих электроизоляционных материалов и вызывают необходимость создания новых, более совершенных материалов. Без применения специальных материалов невозможно создание новых типов кабелей и проводов для различных отраслей народного хозяйства.

Потребности в электроэнергии растут, разрабатываются новые типы силовых кабелей. Вследствие высокого уровня напряжения в жилах таких кабелей, возникает необходимость использования металлического экрана. Экранирование элементов кабеля необходимо для электромагнитной совместимости кабеля с различными внешними цепями и для обеспечения симметрии электрического поля вокруг жилы кабеля и, следовательно, для создания более благоприятных условий работы изоляции. В дипломной

работе систематизирована информация по данной теме. В результате потерь, номинальный ток всего кабельного изделия уменьшается. В данной работе произведен расчет основных составляющих коэффициента потерь для экранов из разных материалов, для того чтобы выявить недостатки, существующие в кабельной промышленности на сегодняшний день.

Данная тема актуальна в современном мире потому что, благодаря анализу полученных данных можно будет спроектировать принципиально новый тип металлического экрана, что будет способствовать уменьшению денежных затрат и средств на технологический процесс производства.

Цель дипломной работы – повышение номинального тока путем снижения коэффициента потерь в проволочном экране силового кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

1. Изучение материала по теме дипломной работы;
2. Рассмотрение основных конструктивных элементов и материалов силового кабеля из сшитого полиэтилена и их назначение;
3. Анализ потерь в экранах и их математическое описание;
4. Обоснование критериев выбора проволочных экранов;
5. Электрический расчет для определения номинального тока;
6. Расчет термической стойкости экрана;
7. Расчет коэффициента пропорциональности для выбора сечения экрана;
8. Анализ полученных данных и выбор наилучших показателей;

## 1. Обзор литературы

### 1.1. Основные конструкционные элементы кабелей из сшитого полиэтилена и их назначение

Мировые тенденции развития кабельных энергораспределительных сетей среднего напряжения в течение последних десятилетий направлены на внедрение кабелей с теплостойкой экструдированной изоляцией (сшитый полиэтилен) и замену ими кабелей с бумажной пропитанной изоляцией. В настоящее время в промышленно развитых странах Европы и Америки практически 100% рынка силовых кабелей занимают кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Кабели среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена обладают рядом преимуществ перед кабелями с бумажной пропитанной изоляцией:

- повышенная рабочая температура, что позволяет увеличить пропускную способность;
- повышенная стойкость при работе в условиях перегрузок и коротких замыканий;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- не содержат масла, битума, свинца, что упрощает монтаж, эксплуатацию и устраняет экологически неблагоприятные факторы;
- более надежны в эксплуатации и требуют меньших расходов на реконструкцию и содержание кабельных линий;
- меньший вес и допустимый радиус изгиба;
- возможность изготовления кабелей большой строительной длины;
- одножильные и трехжильные кабели с оболочкой из полиэтилена.

Повышенная термическая и механическая стойкость сшитого полиэтилена обусловлена созданием новых молекулярных связей в процессе вулканизации ("сшивки") изоляции.

В настоящее время на российском рынке кабельно-проводниковой продукции наблюдается стабильное увеличение производства-потребления кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Российское обозначение этих кабелей СПЭ, английское — XLPE, немецкое — VPE, шведское — PEХ.

Отметим основные преимущества кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабелей) перед кабелями с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ-кабелями): в зависимости от условий прокладки пропускная способность СПЭ-кабелей в 1,2—1,3 раза больше благодаря более высокой допустимой длительной температуре, термическая стойкость СПЭ-кабелей при токах короткого замыкания (КЗ) выше благодаря большей предельной температуре, удельная повреждаемость СПЭ-кабелей в 10—15 раз ниже, чем у БПИ-кабелей, большой срок службы СПЭ-кабеля (поданным заводоизготовителей более 50 лет), более легкие условия монтажа СПЭ-кабелей, обусловленные меньшими массой, диаметром, радиусом изгиба, отсутствием тяжелой свинцовой (или алюминиевой) оболочки, СПЭ-кабели можно прокладывать при отрицательных температурах (до -20 °С) без предварительного подогрева благодаря использованию полимерных материалов для изоляции и оболочки, отсутствие в конструкции СПЭ-кабелей жидких компонентов уменьшает время и снижает стоимость монтажа, СПЭ-кабели высоко экологичны благодаря отсутствию утечки масла и загрязнения окружающей среды при повреждении, гигроскопичность конструктивных элементов СПЭ-кабеля значительно меньше, чем БПИ-кабеля, высокие диэлектрические свойства изоляции, СПЭ-кабели не имеют ограничений по разности уровней кабельной трассы.

Основной особенностью СПЭ-кабелей является их принципиально новая изоляция — сшитый полиэтилен. Полиэтилен как изоляция известен достаточно давно. Но обычному термопластичному полиэтилену присущи серьезные недостатки, главным из которых является резкое ухудшение характеристик при температурах, близких к температуре плавления. Изоляция из термопластичного полиэтилена начинает терять форму,

электрические и механические характеристики уже при температуре 85 °С. Изоляция из сшитого полиэтилена сохраняет форму, электрические и механические характеристики даже при температуре 130 °С. Термин «сшивка» или «вулканизация» подразумевает обработку полиэтилена на молекулярном уровне. Поперечные связи, образующиеся в процессе сшивки между макромолекулами полиэтилена, создают трехмерную структуру, которая и определяет высокие электрические и механические характеристики материала, меньшую гигроскопичность, больший диапазон рабочих температур.

В мировой кабельной промышленности при производстве силовых кабелей используются две технологии сшивки, принципиальное различие которых заключается в реагенте, с помощью которого происходит процесс сшивки полиэтилена. Наибольшее распространение получила технология пероксидной сшивки, когда сшивка полиэтилена происходит с использованием специальных химических веществ — пероксидов в среде нейтрального газа при определенных температуре и давлении. Такая технология позволяет получить достаточную степень сшивки по всей толщине изоляции и обеспечить отсутствие воздушных включений. Помимо хороших диэлектрических свойств, это и больший, чем у других кабельных изоляционных материалов, диапазон рабочих температур, и отличные механические характеристики. Пероксидная технология применяется при производстве кабелей среднего и высокого напряжений. Менее распространенной является силанольная сшивка, при которой в полиэтилен добавляются специальные смеси (силаны) для обеспечения сшивки при более низкой температуре. Сектор применения этой более дешевой технологии охватывает кабели низкого и среднего напряжений.

Существуют два варианта исполнения СПЭ-кабелей — трехжильный и одножильный. В основном СПЭ-кабели выпускаются в одножильном исполнении (рис. 2). Внешний вид одножильного СПЭ-кабеля: 1 — круглая многопроволочная уплотненная токопроводящая жила, 2 — экран по жиле из

полупроводящего сшитого полиэтилена, 3 — изоляция из сшитого полиэтилена, 4 — экран по изоляции из полупроводящего сшитого полиэтилена, 5 — разделительный слой из полупроводящей ленты или полупроводящей водоблокирующей ленты, 6 — экран из медных проволок, скрепленных медной лентой, 7 — разделительный слой из двух лент крепированной бумаги, прорезиненной ткани, полимерной ленты или водоблокирующей ленты, 8 — разделительный слой из алюмополиэтиленовой или слюдосодержащей ленты, 9 — оболочка из полиэтилена, ПВХ-пластиката.

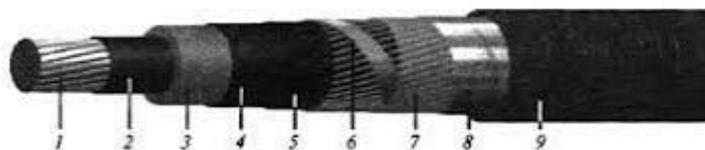


Рисунок 1 - Одножильный СПЭ-кабель

Отличительной особенностью трехжильного исполнения СПЭ-кабеля является наличие экструдированного междуфазного наполнителя из полиэтилена или поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката.

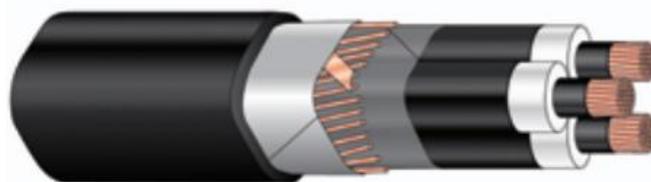


Рисунок 2 - Трехжильный СПЭ-кабель

Применение одножильных СПЭ-кабелей позволяет обеспечить прежде всего повышенную надежность электроснабжения за счет резкого снижения вероятности междуфазных коротких замыканий. Вероятность одновременного разрушения в одном месте изоляции двух конструктивно не связанных между собой одножильных кабелей (соединительных или концевых муфт) соответствует вероятности междуфазных повреждений ошиновки с изолированными шинами, т.е. очень мала. Вероятность

однофазных замыканий на землю при применении одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена намного меньше, чем при использовании трехжильных БПИ-кабелей. Это достигается как самой конструкцией одножильных СПЭ-кабелей, так и лучшими диэлектрическими свойствами изоляции. Одножильное исполнение СПЭ-кабелей позволяет выполнять сечения токоведущих жил до 800 мм. Кабели с таким сечением способны успешно конкурировать с токопроводами, применяемыми в системах электроснабжения энергоемких предприятий.

Экранирование элементов кабеля необходимо для электромагнитной совместимости кабеля с различными внешними цепями и для обеспечения симметрии электрического поля вокруг жилы кабеля и, следовательно, для создания более благоприятных условий работы изоляции. Внутренние экраны выполняются из полупроводящей пластмассы, внешний экран — из медных проволок и лент.

Основной задачей, которую решает экран из медных проволок, является выравнивание электрического поля, действующего на главную изоляцию кабеля (изоляцию жилы), т.е. для выполнения своих функций экран должен быть заземлен. Помимо металлического экрана в конструкции есть полупроводящие экраны: один наносится на внешнюю поверхность жилы, а другой — поверх слоя главной изоляции кабеля на внутреннюю поверхность металлического экрана. Полупроводящие экраны обеспечивают локальное выравнивание напряженности электрического поля на негладкой поверхности проволочной жилы и проволочного металлического экрана. Изоляция экрана предназначена для избежания попадания воды в кабель, через повив проволок экрана в главную изоляцию. Надежность кабеля во многом зависит от целостности его оболочки.

Наружная защитная оболочка предохраняет внутренние элементы кабеля от попадания влаги и механических повреждений при его монтаже и эксплуатации. Наружные оболочки СПЭ-кабелей изготавливаются из полиэтилена или ПВХ-пластиката повышенной прочности.

Условные буквенно-цифровые обозначения (маркировка) кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена:

А — алюминиевая токоведущая жила, нет обозначения — медная токоведущая жила,

Пв — материал изоляции — сшитый (вулканизированный) полиэтилен,

П или В — оболочка из полиэтилена или ПВХ-пластиката,

у — усиленная полиэтиленовая оболочка увеличенной толщины,

нг — оболочка из ПВХ-пластиката пониженной горючести,

нгд — оболочка из ПВХ-пластиката пониженного дымогазовыделения,

г — продольная герметизация экрана водоблокирующими лентами,

1 или 3 — количество токоведущих жил,

50—800 — сечение токоведущей жилы, мм<sup>2</sup>,

гж — герметизация токоведущей жилы, 2 16—35 — сечение экрана, мм,

1—500 — номинальное напряжение, кВ.

Пример обозначения: АПвПг 1х240/35—10 — кабель с алюминиевой жилой (А), СПЭ-изоляцией (Пв), полиэтиленовой оболочкой (П), герметизацией экрана (г), одножильный (1), сечение жилы 240 мм, сечение экрана 35 мм, номинальное напряжение 10 кВ.

Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена используются при строительстве кабельных линий электропередачи под землей, в траншеях, в кабельной канализации, под дну рек и озер, а также в грунтах различных категорий. Кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии при номинальном напряжении 10 кВ частоты 50 Гц в трехфазных сетях с заземленной нейтралью и прямой связью с воздушной линией или без нее на трассах с неограниченной разностью уровней.

Конструкция:

Многопроволочная, круглая, уплотненная токопроводящая жила, алюминиевая или медная, класс гибкости жилы 1. Жилы сечением 1000 мм<sup>2</sup> и 1200 мм<sup>2</sup> – сегментированные, скрученные по системе «Милликен».

Внутренний экструдированный электропроводящий слой

Изоляция из пероксидноштитого полиэтилена

Внешний экструдированный электропроводящий слой. Слой обмотки электропроводящей полимерной лентой или электропроводящей бумагой, или электропроводящей водоблокирующей лентой(кабели с индексом «Г» или «2Г»)

Экран из медных проволок. Возможно введение в экран распределенного оптического датчика температуры

Медная лента

Алюмополимерная лента для кабелей с индексом «2Г»

Наружная оболочка из полиэтилена, ПВХ-пластиката или пластиката пониженной горючести, не содержащей галогенов (кабели с индексом «нг(А)», «НГ»).

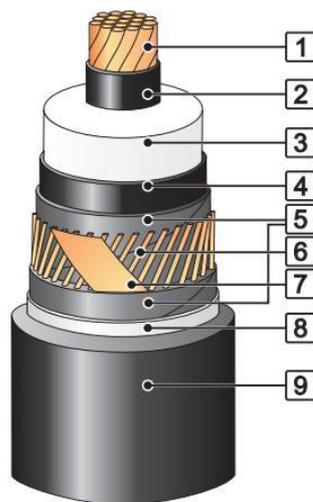


Рисунок 3 - конструкция кабеля СПЭ

Наложение внутреннего полупроводящего слоя, изоляции и внешнего полупроводящего слоя поверх проводника из меди или алюминия производится в один технологический процесс, что обеспечивает ровные поверхности раздела и отсутствие загрязнений. Эти три слоя в сочетании с жилой образуют сердечник кабеля. Сердечник кабеля окружен медным проволочным экраном, который защищает кабель во время прокладки, поддерживает нулевой потенциал на поверхности кабеля, несет зарядные токи, отводит токи при коротких замыканиях. Зона экрана из медных проволок обеспечивается продольной водонепроницаемостью с помощью

водонабухающего материала так, чтобы вода не могла проникнуть в кабель при повреждении внешней оболочки. Двойная герметизация экрана обеспечивается алюминиевой лентой с полимерным покрытием, которая сварена с наружной полиэтиленовой оболочкой. Внешняя оболочка выполняется из износостойкого светостабилизированного полиэтилена высокой плотности, или ПВХ пластиката.

## **1.2. Материалы**

Своими уникальными свойствами кабели с изоляцией из СПЭ обязаны применяемому изоляционному материалу. Полиэтилен в настоящее время является одним из наиболее применяемых изоляционных материалов при производстве кабелей. Но изначально термопластичному полиэтилену присущи серьезные недостатки, главным из которых является резкое ухудшение механических свойств при температурах, близких к температуре плавления. Решением этой проблемы стало применение сшитого полиэтилена.

Термин «сшивка» подразумевает обработку полиэтилена на молекулярном уровне. Поперечные связи, образующиеся в процессе сшивки между макромолекулами полиэтилена, создают трехмерную структуру, которая и определяет высокие электрические и механические характеристики материала, меньшую гигроскопичность, большой диапазон рабочих температур.

Исходным сырьем для сшитого полиэтилена служит полиэтилен высокой плотности и повышенной прочности с обычной линейной структурой. Сшивка заключается в том, что при высоких температуре и давлении, а также под воздействием облучения электронами, и при добавлении определенных химических соединений происходит объединение молекулярных цепочек полиэтилена в единую трехмерную структуру.

Помимо повышенных ударной прочности и ударной вязкости, сшитый полиэтилен обладает чрезвычайно полезными свойствами, недостижимыми для других материалов, которые и определяют основные области его применения.

При прокладке в земле применяется оболочка из полиэтилена высокой плотности, обеспечивающая необходимую защиту кабеля от механических повреждений, как при прокладке, так и в процессе эксплуатации. Если необходима герметизация экрана, используется два разделительных слоя водоблокирующих лент под и поверх медного экрана, накладываемых с перекрытием. При прокладке кабеля в кабельных сооружениях применяется оболочка из ПВХ-пластиката пониженной горючести.

Сшитый полиэтилен может производиться по разным технологиям при изменениях температуры, давления проходящей реакции, а также сопутствующих веществ. При этом получают материалы, которые несколько отличаются по своим свойствам. В электроизоляционной промышленности используются:

1. РЕХЬ – полиэтилен, «сшитый» химическим силановым (или силанольным) способом. В его производстве используются вещества кремневодороды, которые с повышением температуры до 80-90 °С участвуют в гидролизе, связывая боковые ответвления полимерных макромолекул. Сравнительно дешевый метод, дает около 65 % сшивки. Был очень распространен на начальном этапе использования полиэтилена в качестве кабельной изоляции, но давал неравномерность распределения свойств по всему объему.
2. РЕХа «сшивается» в присутствии перекиси водорода, из-за чего называется «пероксидным», при повышении температуры до 400 °С и давления 8-9 атм. Такой метод модификации полиэтилена более сложный и дорогой, но дает до 80 % сшитых молекул и сравнительно равномерное распределение показателей по объему материала. Получил наибольшее применение как высоковольтная изоляция большой толщины.

Изоляция РЕХb разрешена только для кабелей, рассчитанных на напряжение не более 1 кВ. При большем напряжении она имеет меньшую электростойкость, часто дает пробой и быстро приходит в негодность. Для изоляции провода в 10-35 кВ и более используется только материал РЕХа.

Изоляция из сшитых образцов полиэтилена используется в производстве одножильного и трехжильного кабеля, применяемых как в однолинейной, так и в групповой прокладке на открытых местах, в кабельных конструкциях, под землей. Толщина изоляции варьируется от 3,4 до 35 мм при сечении кабеля от 35-ти до 3000 мм<sup>2</sup> и протекании тока напряжением до 550 кВ.

Выбор материала экрана зависит от того является ли поле, воздействующее на кабельное изделие электрическим или магнитным. В общем случае магнитные материалы обеспечивают большее поглощение излучаемой электромагнитной энергии, а хорошие проводники, такие как медь или алюминий обладают высокой отражающей способностью. Последние более эффективно экранируют электрические поля, но их эффективность снижается с увеличением частоты. В диапазоне низких частот и хорошего экранирования магнитных полей можно применять сплавы с большей магнитной проницаемостью, такие как латунь или (...)

В качестве материала магнитных экранов в слабых полях используются сплавы с высокой магнитной проницаемостью. Пермаллой, относящиеся к группе ковких сплавов с высокой магнитной проницаемостью, хорошо обрабатываются резанием и штамповкой. По составу пермаллой принято делить на низконикелевые (40-50% Ni) и высоконикелевые (72-80% Ni). Для улучшения электромагнитных и технологических свойств пермаллой часто легируют молибденом, хромом, кремнием, кобальтом, медью и другими элементами. Основными показателями электромагнитного качества этих сплавов являются значения начальной и максимальной магнитной проницаемости. Коэрцитивная сила у пермаллоев должна быть как можно меньше, а удельное электрическое сопротивление  $\rho$  и намагниченность насыщения как можно более высоким.

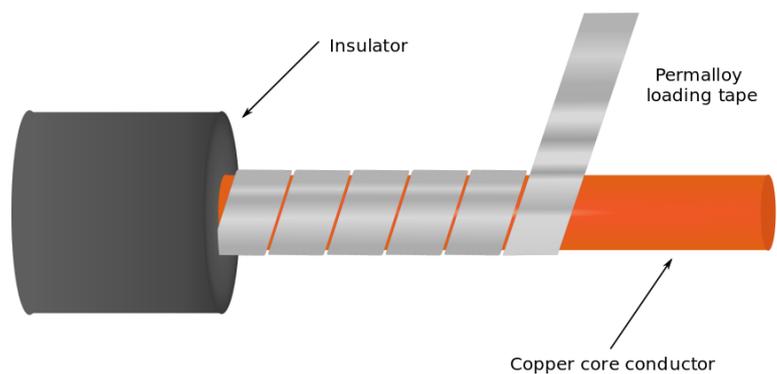


Рисунок 4 - Схема экранирования кабеля пермаллоем

Низконикелевый пермаллой применяют для изготовления магнитных экранов, работающих в слабых постоянных магнитных полях. Легированный кремнием и хромом низконикелевый пермаллой применяют при повышенных частотах.

## 2. Методическая часть

По принципу действия различают электростатические, магнитостатические и электромагнитные экраны. Экранирующее действие металлического экрана обуславливается двумя причинами: отражением поля от экрана и затуханием поля при прохождении сквозь металл. Каждое из этих явлений не зависит одно от другого и должно рассматриваться отдельно, хотя общий экранирующий эффект является результатом их обоих. Под магнитным экранированием какой-либо области пространства понимается ослабление магнитного поля внутри этой области путем ограничения ее оболочкой, изготовленной из магнитомягких материалов. Индуцированные заряды располагаются на внешней поверхности экрана так, что электрическое поле внутри экрана равно нулю. Магнитостатическое экранирование основано на замыкании магнитного поля в толщине экрана, имеющего повышенную магнитную проницаемость. Материал экрана должен обладать магнитной проницаемостью значительно больше магнитной проницаемости окружающей среды.

Основы экранирования базируются на теории распространения электрического и магнитного поля. Излучаемая энергия передается электромагнитным полем. Когда поле изменяется во времени, его электрическая и магнитная составляющие существуют одновременно, причем одна из них может быть больше другой. Если больше электрическая составляющая, то поле считается электрическим, если больше магнитная составляющая, то поле считают магнитным. Обычно поле имеет ярко выраженный характер вблизи своего источника на расстоянии длины волны. В свободном пространстве, на большом расстоянии от источника энергии (сравнительно с длиной волны) обе составляющие поля имеют равное количество энергии. Электрическая (электростатическая) составляющая поля соответствует напряжению на проводнике, а магнитная (электромагнитная) – току.

Магнитный поток, создаваемый элементом конструкции, замыкается в стенках магнитного экрана вследствие его малого магнитного сопротивления. Эффективность такого экрана тем больше, чем больше его магнитная проницаемость и толщина. Магнитостатический экран применяют только при постоянном поле или в диапазоне низких частот изменения последнего.

Электромагнитное экранирование основано на взаимодействии переменного магнитного поля с вихревыми токами, наведенными им в толще и на поверхности токопроводящего материала экрана. Если на пути однородного магнитного потока поместить медный экран, набранный из проволок то в нем возбуждятся переменные Э.Д.С., которые, в свою очередь, создадут переменные индукционные вихревые токи. Магнитное поле этих токов будет замкнутым; внутри цилиндра оно будет направлено навстречу возбуждающему полю, а за его пределами – в ту же сторону, что и возбуждающее поле. Результирующее поле оказывается ослабленным внутри цилиндра и усиленным вне его, т.е. происходит вытеснение из пространства, занимаемого цилиндром, в чем и заключается его экранирующее действие.

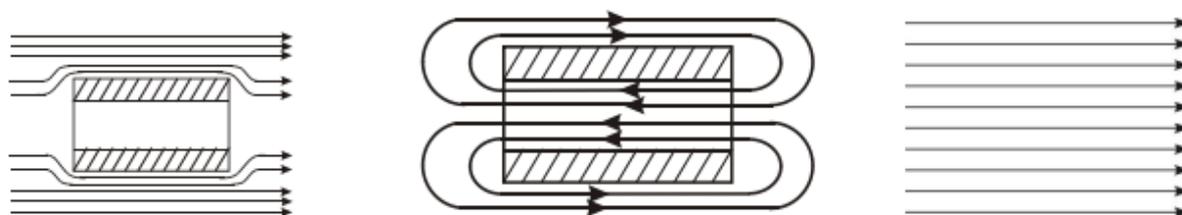


Рисунок 5 - Принцип действия металлического экрана

Эффективность электромагнитного экранирования увеличивается с увеличением обратного поля, которое будет тем больше, чем больше протекающие по цилиндру вихревые токи, т.е. чем больше электрическая проводимость цилиндра. Ослабление магнитного поля металлом может быть вычислено. Оно пропорционально толщине экрана, коэффициенту вихревых

токов и корню квадратному из произведения частоты поля, магнитной проницаемости и проводимости материала экрана.

## 2.1. Физика процессов и их математическое описание

Механизмы появления токов в экранах кабеля, не имеющего повреждения изоляции:

- через взаимную емкость между жилой и экраном;
- через взаимную индуктивность между жилой и экраном.

Емкостный механизм появления тока в экране связан с наличием фазного напряжения сети, приложенного к изоляции «жила-экран». Это напряжение приводит к протеканию между жилой и экраном тока, величина которого ограничена емкостным сопротивлением изоляции «жила-экран». Такой ток, попав из жилы в экран, стекает с экрана в его заземляющее устройство, создавая в экране дополнительные потери активной мощности вне зависимости от того, нагружен ли кабель или является холостым. Величина емкостного тока пропорциональна длине кабеля, но крайние значения не больше одного ампера. Емкостные токи, протекающие по экрану при его однократном или многократном заземлении, очень малы, следовательно, они не увеличивают его температуру и не опасны для кабельного изделия.

Индуктивный механизм появления тока в экране связан с наличием тока в жиле кабеля и, поэтому, проявляет себя только для нагруженного кабеля. Ток в жиле за счет взаимной индукции между жилой и экраном индуктирует в нем ток, но только в случае, если экран заземлен более чем в одной точке. Если не принять ограничивающих условий, то значения тока, протекающего в экране, может достичь сотни ампер. В отличие от емкостного тока, индуктированный ток не зависит от длины кабеля.

Суммарные потери в однофазном кабеле (в одной фазе трехфазной группы однофазных кабелей) могут быть оценены из выражения:

$$P_{\text{сум}} = P_{\text{жс}} + P_{\text{э}} + P_{\text{диэл}}$$

где  $P_{\text{ж}} = I_{\text{ж}}^2 \cdot R_{\text{ж}}$ ,  $P_{\text{э}} = I_{\text{э}}^2 \cdot R_{\text{э}}$  - потери от тока в жиле  $I_{\text{ж}}$  и экране  $I_{\text{э}}$ , соответственно,

$$P_{\text{диэл}} = (U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3})^2 \cdot \omega C_{\text{жэ}} \cdot \text{tg} \delta$$

- потери в диэлектрике «жила-экран» от фазного рабочего напряжения  $U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3}$ .

Активные сопротивления жилы  $R_{\text{ж}}$  и экрана  $R_{\text{э}}$  составляют:

$$R_{\text{ж}} = L_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{ж}} / F_{\text{ж}} \quad \text{и} \quad R_{\text{э}} = L_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{э}} / F_{\text{э}}$$

откуда соотношение потерь в экране кабеля и в его жиле может быть найдено как :

$$\frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{ж}}} = \left( \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{ж}}} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{э}}}{\rho_{\text{ж}}} \cdot \frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{э}}}$$

Данное выражение является одним из главных критериев выбора экрана и называется коэффициентом потерь.

Магнитное поле кабеля переменного тока вызывает дополнительные потери энергии в металлических экранах, которые складываются из потерь на вихревые токи и потерь от продольных токов, наводимых в экранах.

Рассмотрим электромагнитные процессы в экране на примере однофазной линии.

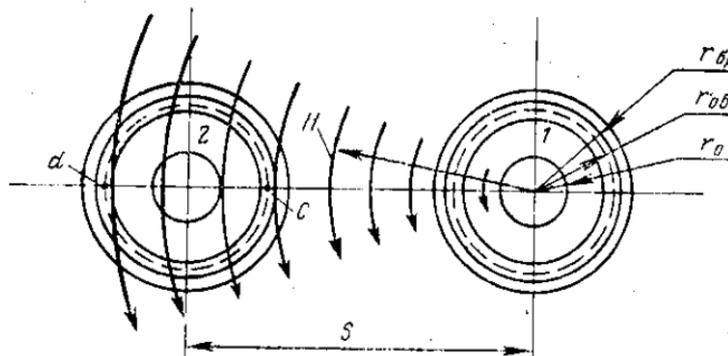


Рисунок 6 - Силовые линии магнитного поля в экране

Ток в жиле кабеля 1 обуславливает магнитное поле, напряженность которого направлена по концентрическим окружностям и может быть вычислена на основании закона полного тока:

$$H = \mu_0 I / 2\pi r$$

где  $H$  - напряженность магнитного поля, А/ м;

$I$  – ток в жиле, А.

Электродвижущая сила, возникающая в контуре, ограниченном экраном кабеля 1 и отдельными участками экрана кабеля 2, пропорциональна магнитному потоку от жилы кабеля 1, заключенному в этом контуре. В точке  $c$  она будет наименьшей, а в точке  $d$  – наибольшей.

Если экраны на одном из концов будут разомкнуты, то по оболочке кабеля 2 будут проходить замкнутые токи, как показано на рисунке:

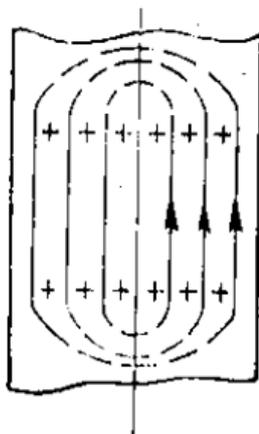


Рисунок 7 - Направление замкнутых токов по экрану

При этом на конце экрана появится среднее общее напряжение, приближенно определяемое магнитным потоком между осью кабеля 2 и экраном кабеля 1.

Таким образом наличие потерь и тока в оболочках приводит к увеличению активной составляющей падения напряжения. В трехжильных кабелях, сумма токов во всех жилах равна нулю и отсутствует м.д.с. , направленная вдоль замкнутой ферромагнитной цепи, расположенной по внешней окружности

кабеля. Потери в экранах из медной проволоки будут значительно меньше, так как в местах переходов от одной проволоки к другой магнитный поток встречает значительное сопротивление.

Рассмотрев механизм поведения поля в экране, можно сделать определенные выводы, которые должны учитываться при разработке экрана:

- При однократном заземлении экранов существует напряжение промышленной частоты, величина которого пропорциональна току в жилах, расстоянию между осями фаз, длине кабеля.
- При объединении экранов одновременно в обоих концах кабеля в них проходит продольный ток, величина которого зависит от тока жилы, площади фазной, сечению экрана или обратно пропорциональна его активному сопротивлению, не зависит от длины кабеля.

## **2.2. Критерии выбора экрана**

Техническое конструирование и производство экрана проводят с расчетом на два фактора:

1. Термическая стойкость
2. Коэффициент потерь

Именно внутренние короткие замыкания в кабеле являются определяющими при формулировании требования к термической стойкости, этому способствует ряд причин:

- при внутренних повреждениях токи в экранах протекают всегда, тогда как при внешних лишь в некоторых случаях
- для сети в качестве внешних коротких замыканий рассматриваются повреждения изоляции у потребителя, которые определяются малыми токами, при внутренних же повреждениях имеет место непосредственная близость к центру питания

То есть, при повреждениях изоляции между фазой и экраном ток короткого замыкания  $I_k$  из жилы попадает в экран и далее в заземляющее устройство экрана, то есть протекает по самому экрану. Если сечение  $F_3$  не соответствует величине тока  $I_k$  и длительность его протекания, то возможно термическое разрушение экрана на значительном по длине  $L$  отрезке кабеля.

Таблица 1 – Зависимость сечения от токов короткого замыкания

Сечение медного экрана	Допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА
16	3,3
25	5,1
35	7,1
50	10,2
70	14,3
95	19,4

Частичное не заземление экранов или транспозиция не являются основанием для снижения сечения экранов, несмотря на то что при внешних токах КЗ транспозиция существенно снижает токи в экранах.

При выборе сечения экрана кабеля и проверке его термической стойкости необходимо ориентироваться на большее из двух значений токов КЗ. В кабельных сетях следует рассматривать различные виды КЗ:

- двойное короткое замыкание К(1,1);
- однофазное короткое замыкание К(1);
- двухфазное К(2) или трёхфазное К(3) короткое замыкание.

Для других значений сечений медного экрана допустимый ток односекундного КЗ рассчитывают по формуле:

$$I_{КЗ} = K \times S_{ЭКР},$$

где  $I_{КЗ}$  - допустимый ток односекундного КЗ в медном экране, кА;

$S_{ЭКР}$  - номинальное сечение медного экрана, мм<sup>2</sup> ;

$K$  - коэффициент, равный 0,203 кА/мм<sup>2</sup> .

Для дальнейшего расчета по этому критерию будем пользоваться методикой проверки экранов одножильных кабелей 10 кВ с изоляцией из СПЭ на термическую стойкость.

- 1) По заданному току КЗ на шинах питающей станции или трансформаторной подстанции определяем реактивное сопротивление электрической системы при двойном КЗ на землю:

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

- 2) Определяем сопротивление кабельной линии:

$$R_{к} = \left( R_{ж} + \frac{m \times R_{э}}{3} \right) \times l = (R_{ж} + 0,3 R_{э}) \times l$$

- 3) Определяем ток двойного замыкания на землю, кА:

$$I_{2к} = \frac{K_{п.н.} \times U_{н.}}{\sqrt{X_{2c}^2 + R_{н.}^2}}$$

- 4) Определяем ток в экране:

$$I_{э} = \frac{m \times I_{2к}}{3} = 0,3 I_{2к}$$

- 5) Рассчитываем минимально допустимое сечение в экране:

$$S_{э} = \frac{I_{э}}{227 \times \sqrt{A}} = 5,5 I_{э} \times \sqrt{\frac{t}{l}}$$

Вторым критерием является коэффициент потерь. При протекании тока по экрану кабеля возникают потери мощности в экране. Отношение потерь мощности в металлическом экране к потерям мощности в жиле влияет на пропускную способность токопроводящей жилы. Это можно увидеть из выражения, описывающего токовую нагрузку:

$$\frac{P_{э}}{P_{ж}} = \left( \frac{I_{э}}{I_{ж}} \right)^2 \cdot \frac{R_{э}}{R_{ж}}$$

Нормальной считается та кабельная линия в которой  $P_{\Sigma} / P_{\text{ж}} \approx 0$ , то есть все тепловыделение происходит в жилах. Для таких кабельных линий сечение жилы определяется исходя из недопустимости длительного перегрева изоляции ( для сшитого полиэтилена – 90 С).

К сожалению, в настоящее время многие производители выпускают спроектированные кабельные линии с коэффициентом потерь больше 0, таким образом в кабеле кроме потерь от токов в жиле имеются значительные потери в экране. Это влечет за собой ряд последствий неблагоприятных для кабеля, таких как:

- перегрев изоляции кабеля при номинальных нагрузках, что снижает срок службы кабельного изделия.
- за счет потерь в экранах, в сети возникают лишние потери активной мощности, за которые приходится платить потребителю электроэнергии.

Анализируя приведенные данные, можно заметить, что возникает необходимость совершенствования существующих технологических процессов производства экранов.

### 3. Получение результатов

#### 3.1. Выбор сечения экрана

##### Исходные данные:

Кабельная линия выполняется одножильными кабелями марки ПвП2г – 10 кВ(1х240/35).

Время срабатывания защиты – 0,9 с.

$I_{кз} = 20$  кА - ток короткого замыкания на технической подстанции;

$l = 700$  м – длина кабельной линии;

$K_{пн} = 1.05$  – коэффициент перенапряжения;

$U_n = 10$  кВ – номинальное напряжение;

Суть метода заключается в нахождении минимально допустимого сечения экрана с учетом времени срабатывания защитных устройств в кабельной линии. По формулам представленным ранее поэтапно производим расчет.

Определяем реактивное сопротивление электрической системы при двойном КЗ на землю:

$$X_2 := \frac{2 \cdot K_{пн} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}} = 606.218$$

Из таблицы сопротивлений выбираем нужное значение  $R_{ж}$ :

Таблица 2 – Сечения экрана от сопротивления жилы

Сечение жилы $S_{ж}$ , мм <sup>2</sup>	95	120	150	185	240
$R_{ж}$ , мОм/м	0,4	0,316	0,257	0,205	0,156

В нашем случае  $R_{ж} = 0.156$  мОм/м. Сечение экрана принимаем равным  $35 \text{ мм}^2$

Значение  $R_{э}$  для этого размера приведено в таблице:

Таблица 3 – Сечение экрана от сопротивления экрана

Сечение экрана $S_{э}$ , мм <sup>2</sup>	16	25	35	50	70
$R_{э}$ , мОм/м	1,33	0,85	0,61	0,42	0,3

Выбираем  $R_{э} = 0.61$  мОм/м.

Определяем сопротивление кабельной линии:

$$R_{к} := \left( R_{ж} + \frac{m \cdot R_{э}}{3} \right) \cdot 1 = 0.272$$

Определяем ток двойного замыкания на землю:

$$I_{2к} := \frac{K_{пн} \cdot U_{н}}{\sqrt{X_2^2 + R_{к}^2}} = 17.321$$

Определяем ток в экране при двойном замыкании на землю:

$$I_{э} := \frac{m \cdot I_{2к}}{3} = 5.196$$

где  $m = 0.9$  - коэффициент тока в экране;

Отсюда сечение экрана:

$$S_{э} := 5.5 \cdot I_{э} \cdot \sqrt{\frac{t}{1}} = 32.405$$

Вывод: согласно расчету сечение экрана кабеля ПвП2Г на 10 кВ составило менее допустимого значения в  $35 \text{ мм}^2$ , следовательно экран кабеля отвечает

требованиям термической стойкости. При возникновении аварийного режима работы при коротком замыкании на экране не будет наблюдаться термического разрушения. Было выбрано оптимальное значение, потому что при увеличении сечения экрана увеличиваются паразитные потери мощности.

### 3.2. Определение номинального тока

Исходные данные:

Передаваемая мощность P: 12.5 кВА

Напряжение U: 10 кВ

Экономическая плотность тока  $J_э$  : 3.1

Величина фазного тока определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{12,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 0,9} = 802 \quad (1)$$

Величина сечения ТПЖ находится из соотношения:

$$S_{ж} = \frac{I_p}{J_э} = \frac{801,875}{3,1} = 259 \quad (2)$$

Принимается ближайшее значение жилы согласно ГОСТ 22483-77 :

$$S_H = 300 \text{ мм}^2 \quad (3)$$

После нахождения сечения определяется диаметр жилы:

$$D_{ж} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_H}{\pi \cdot 0,88}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 300}{3,14 \cdot 0,88}} = 20,834 \text{ мм} \quad (4)$$

Выбор толщины изоляции в кабелях постоянного тока проводится по допустимым средним значениям  $E_{\text{пр}}$ . Для кабелей из сшитого полиэтилена  $E_{\text{пр}}$  принимается равной 20-25 кВ/мм. Принимаем:

$$E_{\text{пр}} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

Толщина изоляции:

$$\Delta_{\text{из}} = \frac{U}{E_{\text{пр}}} = \frac{10000}{2400} = 4,167 \text{ мм} \quad (5)$$

Значения толщины элементов кабеля:

$$\Delta_{\text{рс}} = 2 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{тб1}} = 0.24 \text{ мм}$$

$$d_{\text{пр}} = 1 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{об}} = 3 \text{ мм}$$

Дальнейший расчет будем производить для разных материалов металлических проволок экрана.

В соответствии со справочником находим усредненные характеристики проводниковых материалов.

Удельное сопротивление меди равно:

$$\rho_{\text{cu}} := 0.0172 \cdot 10^{-6} \text{ Ом*м}$$

Температурный коэффициент:

$$\text{Тк}_{\rho_{\text{cu}}} := 39 \cdot 10^{-4}$$

Геометрические размеры элементов кабеля определяются по формулам:

$$R_{\text{из}} = R_{\text{тб1}} + \Delta_{\text{из}} = 10.657 + 4.167 = 14.824 \text{ мм} \quad (6)$$

$$R_{\text{э}} = R_{\text{из}} + d_{\text{пр}} = 14.824 + 1 = 15.824 \text{ мм} \quad (7)$$

$$R_{06} = \Delta_{06} = 3 \text{ мм} \quad (8)$$

Тепловой расчет для медного экрана

Сопротивление всей жилы, при условии что максимально допустимая рабочая температура:

$$T_{ж} = 90^\circ \text{С}$$

Отсюда:

$$R_t = \frac{\rho_{cu} \cdot [1 + Tk_{cu} \cdot (T_{ж} - 20)]}{S_H \cdot 10^{-6}}$$

$$R_t = \frac{0,0172 \cdot 10^{-6} \cdot [1 + 39 \cdot 10^{-4} \cdot (90 - 20)]}{300 \cdot 10^{-6}} = 7,299 \cdot 10^5 \text{ Ом} \quad (9)$$

Тепловые сопротивления элементов кабеля:

$$S_{из} = \frac{\delta_{из}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \left( \frac{R_{Т61}}{\frac{D_{ж}}{2}} \right) = \frac{3}{6,28} \cdot \ln \left( \frac{10,657}{10,417} \right) = 0,161 \text{ мм} \quad (10)$$

$$S_{рс} = \frac{\delta_{рс}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \left( \frac{R_{из} + \Delta_{рс}}{R_3} \right) = \frac{5}{6,28} \cdot \ln \left( \frac{14,824 + 4,167}{15,824} \right) = 0,049 \text{ мм} \quad (11)$$

$$S_{ос} = \frac{\delta_3}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot L}{R_{06}} \right) = \frac{1,2}{6,28} \cdot \ln \left( \frac{1400}{3} \right) = 0,806 \text{ мм} \quad (12)$$

Значения удельных тепловых сопротивлений:

$$\delta_{из} = 3$$

$$\delta_{рс} = 5$$

$$\delta_{06} = 3$$

$$\delta_3 = 1,2$$

$$L = 700$$

Электрическое сопротивление экрана:

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{cu}} \cdot [1 + Tk_{\text{cu}} \cdot (T_{\text{ж}} - 40)]}{S_{\text{э}} \cdot 10^{-6}} \quad (13)$$

$$R_{\text{э}} = \frac{0,0172 \cdot 10^{-6} \cdot [1 + 39 \cdot 10^{-4} \cdot (90 - 40)]}{35 \cdot 10^{-6}} = 5,873 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

Коэффициент  $y_{\text{э}}$ , показывающий на соотношение потерь в металлических элементах кабеля к потерям в жиле:

$$y_{\text{э}} = \frac{R_{\text{экp}}}{R_t} \cdot \frac{1}{1 + \left( \frac{R_{\text{экp}}}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot R_{\text{об}}}{R_{\text{э}}} \right)} \right)^2} \quad (14)$$

$$y_{\text{э}} = \frac{5,873 \cdot 10^{-4}}{7,299 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{1 + \left( \frac{5,873 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot 21,064}{15,824} \right)} \right)^2} = 0,087$$

Максимальный ток нагрузки с учетом взаимного теплового влияния при прокладке кабеля:

$$I_{\text{н}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ж}} - 15}{R_t \cdot [S_{\text{из}} + S_{\text{pc}} + (1 + y_{\text{э}}) \cdot (S_{\text{об}} + S_{\text{oc}})]}} \quad (15)$$

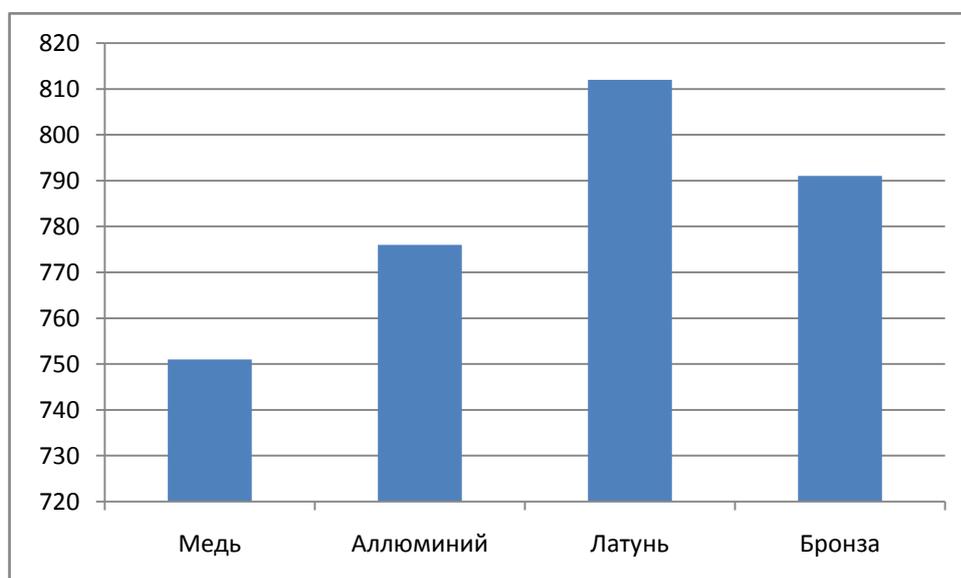
$$I_{\text{н}} = \sqrt{\frac{90 - 15}{7,299 \cdot 10^5 \cdot [0,158 + 0,049 + (1 + 0,087) \cdot (0,073 + 0,802)]}} = 751 \text{ А}$$

Для расчета номинального тока алюминия, бронзы и латуни используются аналогичные формулы с учетом электрических свойств материалов. Результаты сведены в таблицу.

Таблица – 4 Результаты расчетов номинального тока

	Медь	Алюминий	Латунь	Бронза
$\rho_{cu}$ [Ом · м]	$0,0172 \cdot 10^{-6}$	$0,0280 \cdot 10^{-6}$	$0,43 \cdot 10^{-6}$	$0,095 \cdot 10^{-6}$
$Tk_{\rho_{cu}}$	$39 \cdot 10^{-4}$	$42 \cdot 10^{-4}$	$18 \cdot 10^{-4}$	$20 \cdot 10^{-4}$
$R_9$ [Ом]	$5,873 \cdot 10^{-4}$	$9,68 \cdot 10^{-4}$	0,013	$2,959 \cdot 10^{-3}$
$y_3$	0,087	0,053	$4,02 \cdot 10^{-3}$	0,018
$I_H$ [А]	751	776	812,154	791

По полученным расчетным данным построена гистограмма зависимости номинального тока от материала.



## Рисунок 8 - График зависимости номинального тока от материала

В результате расчета установлено, что при использовании материалов на основе сплавов меди и алюминия, номинальный ток кабельной линии возрастает на 10-15% по сравнению со стандартным медным экраном. Это объясняется тем, что сплавы имеют большее значение удельного сопротивления, чем медь, следовательно коэффициент потерь в экране будет меньше, что повышает пропускную способность кабеля.

### 3.3. Расчет коэффициента пропорциональности

После получения характеристики токовой нагрузки для разных материалов, произведем расчет коэффициента пропорциональности экрана для того чтобы оценить влияние материала на термическую стойкость.

Коэффициент пропорциональности – вспомогательная величина, используемая при расчете допустимых токов КЗ и выборе сечения. Выбор этого коэффициента в качестве результирующей характеристики, по которой можно оценить термические потери обусловлен тем, что он рассчитывается для случаев, когда температура при КЗ не достигает максимально допустимой в экране, т.е. 350 °С, тем самым не наблюдается нагрева и термического разрушения полимерных компонентов вокруг самого экрана. Отсюда следует, что после возникновения и устранения аварийного режима можно продолжать эксплуатацию кабельной линии, заменив только один участок.

Формула для определения коэффициента пропорциональности:

$$K_э = \sqrt{\frac{\gamma \cdot C \cdot (T_2 - T_1)}{\rho_0}} \quad (16)$$

где  $\gamma$  – удельная плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг\*К);

$T_2$  – конечная температура экрана КЗ в силовых кабелях с изоляцией СПЭ, °С

$T_1$  – начальная температура экрана до КЗ, °С;

$\rho_0$  – удельное активное сопротивление материала экрана, Ом\*м.

Отсюда:

$$\rho_0 = \rho \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - 20 \right) \right] \quad (17)$$

где  $\rho$  - активное сопротивление материала при 20 °С , Ом\*м;

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления экрана.

Таблица 5 - Электрические и теплофизические свойства материалов

	Медь	Алюминий	Латунь	Бронза
Удельная теплоемкость [Дж/(кг*К)]	380	900	400	460
Удельная плотность [кг/м <sup>3</sup> ]	8890	2700	8500	8700
Удельное сопротивление [Ом*м]	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$43 \cdot 10^{-8}$	$9,5 \cdot 10^{-8}$
Температурный коэффициент [о.е.]	0.0039	0.0042	0.0027	0.0018

Пример расчета для бронзового экрана:

$$\rho_0 = 9,5 \cdot 10^{-8} \cdot \left[ 1 + 0,0018 \cdot \left( \frac{70 + 350}{2} - 20 \right) \right] = 1,275 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$K_3 = \sqrt{\frac{8700 \cdot 460 \cdot (350 - 70)}{2,995 \cdot 10^{-8}}} = 9,375 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$$

Переведем значение коэффициента пропорциональности в  $\text{мм}^2$  :

$$K_3 = 0,937 \text{ кА/мм}^2$$

Расчет сечения экрана по формуле:

$$S_3 = \frac{J_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t}}{K_3} \quad (18)$$

$$S_3 = \frac{20 \cdot \sqrt{0,9}}{0,937} = 20,238 \text{ мм}^2$$

Расчеты сечения экрана для других материалов производятся по аналогичным формулам с учетом электрических и теплофизических свойств материала экрана. Результаты сведены в таблице.

Таблица 6 – Значения коэффициента пропорциональности и сечения экрана

	Медь	Алюминий	Латунь	Бронза
$K_3, \text{кА/мм}^2$	1,777	1,163	0,382	0,0937
$S_3, \text{мм}^2$	10,676	16,321	49,601	20,238

По результатам расчетных данных построена гистограмма зависимости сечения экрана от электрических и теплофизических свойств материала экрана.

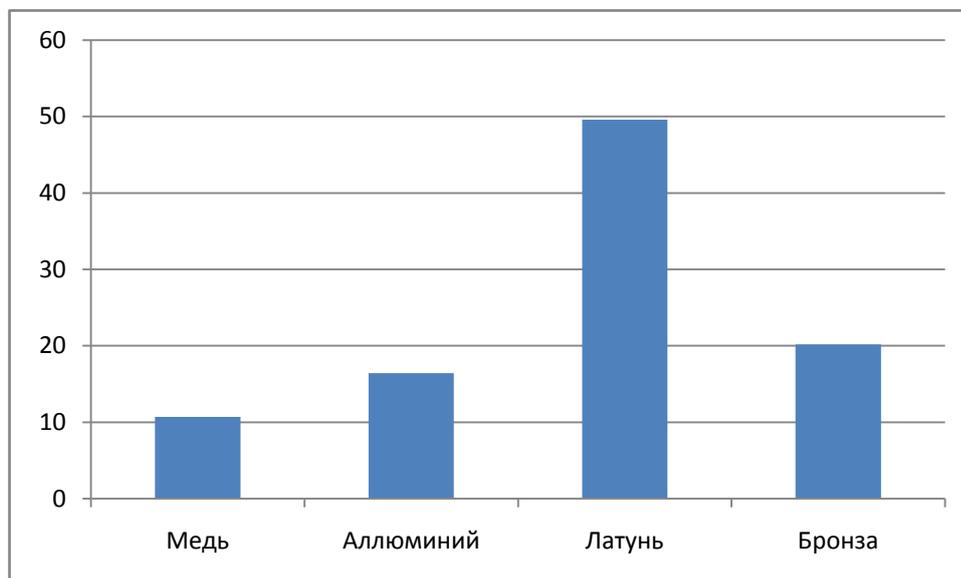


Рисунок 9 - График зависимости сечения экрана от материала

Как видно из гистограммы, применяя материалы на основе сплавов меди и алюминия необходимо увеличивать сечение экрана, что повышает экономическую стоимость всего кабельного изделия.

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

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. [6]

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

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

##### **4.1. Обоснование и SWOT-анализ научного исследования**

Научное исследование посвящено изучению влияния электрических и теплофизических свойств проволочного экрана на величину потерь в силовых кабелях. Научная работа имеет безусловный коммерческий потенциал, потому что в настоящее время заводы – изготовители не изменяют технологический процесс при производстве экранов в кабеле, что открывает возможности для введения новых технологий в конструкцию кабеля.

Технический прогресс в различных отраслях народного хозяйства вызвал рост потребности в кабельной продукции и необходимость создания новых типов кабелей и проводов с более высокими характеристиками. Поэтому данная тема актуальна в настоящее время. В качестве модификации конструкции рассмотрена замена стандартного материала для экрана, на другие материалы не сильно отличающиеся по цене, но имеющие другие характеристики. Рассматриваемые материалы: медь, алюминий, латунь, бронза. Так благодаря другим электрическим характеристикам

проводниковых материалов номинальный ток и следовательно передаваемая мощность бронзы и латуни был повышен на 10-15% по сравнению с медным экраном.

Благодаря исследованию этой темы можно изготовить принципиально новый кабель с более высокими характеристиками, что несомненно найдет потенциальных потребителей в нашей стране.

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

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 1.1.

Таблица 7 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны:</b>	<b>Слабые стороны:</b>
	<p>C1. Собственная научная и производственная база для разработки новой конструкции.</p> <p>C2. Соответствие новых материалов необходимым электрическим характеристикам..</p> <p>C3. Доработка недостающей информации о свойствах исследуемого материала.</p> <p>C4. Не требует</p>	<p>Сл1. Затраты времени на анализ теоретической части;</p> <p>Сл2. Высокие требования к характеристикам исследуемого материала;</p> <p>Сл3. Расчет новой конструкции в соответствии с ГОСТ-ом;</p> <p>Сл4. Необходимость сравнительного анализа характеристик, полученных в результате расчета.</p>

	<p>сложного уникального оборудования при производстве нового кабеля.</p> <p>С5. Наличие опытного научного руководителя.</p> <p>С6. Актуальность проблемы.</p>	
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Увеличение номинального тока исследуемого объекта.</p> <p>В2. Использование объекта испытаний в новых кабельных линиях.</p> <p>В3. Разработка рекомендаций по изготовлению новой конструкции экрана.</p> <p>В4. Рост потребности в обеспечении снижения тепловых потерь в экране кабеля.</p> <p>В5. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов.</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на разработанные рекомендации</p> <p>У2. Введение дополнительных</p>		

требований к материалам экрана		
У3. Угрозы выхода из строя оборудования в ходе использования разработанных рекомендаций		

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 8 - Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 9 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	-	+	+	-	0	-
	У2	+	+	+	-	0	0
	У3	-	+	+	-	0	0

	Слабые стороны проекта			
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
У1	-	+	+	-
У2	+	+	+	-
У3	-	+	+	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 1.2 и 1.3, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно больше числа слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз проведения исследований. Если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Это касается и угроз.

## **4.2. Планирование научно-исследовательской работы**

Планирование комплекса работ по научному исследованию состоит из нескольких этапов:

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

### **4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Также определяется перечень этапов в рамках исследования. Соотношение этапов и исполнителей приведены в таблице 1.4.

Таблица 10 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Проведение испытаний исследуемого объекта	3	Рассмотрение существующих конструкций кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и их материалов	Студент-дипломник
	4	Анализ тепловых потерь в экране	Студент-дипломник
	5	Расчет номинального тока в жиле и термической стойкости экрана	Студент-дипломник
Обсуждение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования	Студент-дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по научному исследованию	7	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
	8	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель

Продолжение таблицы 10

Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник, Научный руководитель
	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

#### 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения научного исследования

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях на основе ряда вероятностных оценок, т.к. зависит от

множества трудно учитываемых факторов, и рассчитывается следующим образом:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5}, \quad (19)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (20)$$

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

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

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

Рассчитанные значения трудоемкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Календарная продолжительность работ

№	Трудоёмкость работ, чел.-дн.	Длительность
---	------------------------------	--------------

	Название работы	$t_{\min}$		$t_{\max}$		$t_{\text{ож}}i$		работ в рабочих днях	
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-
2	Обзор научной и технической литературы	-	7	-	14	-	9,8	-	13
3	Рассмотрение существующих конструкций кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и их материалов	-	1	-	3	-	1,8	-	3
4	Анализ тепловых потерь в экране	-	1	-	4	-	2,2	-	3
5	Расчет номинального тока в жиле и термической стойкости экрана	-	18	-	25	-	21	-	22
6	Оценка результатов исследования	1	2	2	5	1,4	3,2	1	3
7	Составление пояснительной записки	-	10	-	20	-	14	-	18
8	Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	3	-	1,8	-	2	-
9	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
10	Защита ВКР	-	1	-	2	-	1	-	1

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

#### 4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

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



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

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

### **4.3. Составление сметы затрат на разработку научного исследования**

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

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

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

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_m) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (21)$$

где  $m$  - количество видов материальных ресурсов;

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

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

$k_m$  - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 1.7.

Таблица 13 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за кг., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Медь для экрана	10	260	2600
Аллюминий	10	70	700
Латунь	10	145	1450
Бронза	10	160	1600
Перчатки	1	30	35
Маркер	1	60	69
Линейка	1	20	23
Бумага	1	250	288
Ручка	2	15	35
<i>Итого</i>			6800

#### 4.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (22)$$

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

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (23)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{доп} + Z_{р.к.}}{F_{д}}, \quad (24)$$

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

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

$Z_{р.к.}$  - районная доплата, руб.;

$F_{д}$  - количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 1.8.

Таблица 14 - Расчёт основной заработной платы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (25)$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 1.9.

Таблица 15 - Расчет полной заработной платы

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

### 4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{полн}, \quad (26)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

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

### 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.

$$Z_{накл} = \sum Z \cdot k_{нр}, \quad (27)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

#### 4.3.5. Формирование сметы затрат научного исследования

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

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 4.10.

Таблица 16 - Смета затрат технического проекта

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

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

#### 4.4. Определение ресурсоэффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (28)$$

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

$a_i$  - весовой коэффициент разработки;

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

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

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. Негорючесть - это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.
4. Эластичность - это свойство материала экрана восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил. Важный критерий так как экран набирается из медных проволок.
5. Дешевизна - низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.

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

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 1.11.

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик проекта

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,22 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,32 \quad (29)$$

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

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора научного исследования. Установлено, что

технический проект будет эффективным, так как влияние возможностей на сильные стороны научного исследования больше, чем на слабые;

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

## **5. Социальная ответственность**

### **Аннотация**

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

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

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

### **Введение**

Объект исследования – оценка влияния агрессивных средств на физико-механические свойства оболочки кабельных изделий.

Согласно техническому заданию (ТЗ) планируется выявить на основе экспериментальных данных пригодность кабельных изделий для работы при наличие агрессивной среды. Под агрессивной средой понимается среда эксплуатации объекта, вызывающая уменьшение сечений и деградацию свойств материалов во времени. Для выполнений требований ТЗ необходимо подготовить образцы кабельных изделий и поместить их в агрессивную среду, после чего через определенные промежутки времени доставать

образцы и выявлять изменения физико-механических свойств оболочки кабельных изделий.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на производственную деятельность технологического персонала, работающего с оборудованием, позволяющим проводить испытания, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

## Производственная безопасность

### 5.1. Анализ вредных факторов

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. Поэтому для правильной организации работ по борьбе с травматизмом, профессиональными и общими заболеваниями рассмотрим вопросы охраны труда на рабочем месте.

Основные вредные факторы:

- испарение летучих продуктов;
- отклонение параметров микроклимата;
- повышенный уровень шума;
- недостаточная освещенность.

Влияние указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению трудоспособности, вызванные переутомлением, что приводит к развитию профессиональных заболеваний.

Таблица 18 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке физико-механических свойств оболочки кабельных изделий

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1) Подготовка образцов к испытанию; 2) Получение заготовок нужной формы на прессе; 3) Испытание на разрывной машине;	1. Микроклимат в закрытом помещении; 2. Шум и вибрации; 3. Испарение летучих продуктов из агрессивных сред.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток. 3. Работа с режущими инструментами	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы.  Например, параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [8].

Рассмотрим нормы, предъявляемые к выявленным факторам, и их способы реализации.

### *Вредные вещества*

В процессе проведения исследований одним из основных вредных факторов является испарение летучих продуктов из агрессивной среды. Испаренные летучие продукты могут нанести вред здоровью человека. Согласно [8] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;

4-й - вещества малоопасные.

Дизельное топливо и трансформаторное масло относятся к малотоксичным веществам 4-го класса опасности [9,10]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны для вредных веществ 4-го класса – более 10 мг/м<sup>3</sup>.

Для устранения или уменьшения воздействия данного вредного фактора в лаборатории производится вентиляция помещения. Так как в здании изначально не было отведено места для установки искусственной вентиляции (воздуховодов), то помещение проветривается естественным способом, т.е. открывается окно на некоторое время в отсутствие рабочего персонала. Для увеличения эффекта вентиляции необходимо установить вытяжку с вентилятором (принудительная вентиляция).

### *Микроклимат*

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве (в лаборатории).

Микроклимат определяют следующие параметры [14]:

- температура воздуха в помещении, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- подвижность воздуха, м/с;
- тепловое излучение, Вт/м.

Таблица 19 – 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
	IIa (175-232)	17-18,9	21,1-23	16-24
	IIб (233-290)	15-16,9	19,1-22	14-23
	III(более 290)	13-15,9	18,1-21	12-22
Теплый	Ia (до 139)	21-22,9	25,1-28	20-29
	Iб (140-174)	20-21,9	24,1-28	19-29

IIa (175-232)	18-19,9	22,1-27	17-28
IIб (233-290)	16-18,9	21,1-27	15-28
III (более 290)	15-17,9	20,1-26	14-27

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека и определяются согласно [14]. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

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. Экспериментальные работы, которые проводились в лаборатории, можно отнести к категории легкой физической работы IIб (производство, сидя, стоя, не требует систематического физического напряжения). Оптимальная температура воздуха в холодный период года составляет  $+(21\div 23)^{\circ}\text{C}$ , в теплый период не более  $+(22\div 24)^{\circ}\text{C}$ . Для поддержания данной температуры воздуха в холодный период времени предусмотрены батареи центрального отопления.

Влажность воздуха влияет на теплообмен в организме человека, затрудняя или облегчая теплообмен организма с окружающей средой. Оптимальная норма относительной влажности должна составлять  $(40\div 60)\%$ , 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.

Способы нормализации микроклимата производственных помещений в исследовательской лаборатории НИНИЦ ООО «Томсккабель»:

- Рациональное размещение оборудования;
- Рациональная тепловая изоляция оборудования;
- Рациональная вентиляция и отопление (воздушный душ);
- Рационализация режимов труда и отдыха (оазисы).

Все оптимальные условия микроклимата в исследовательской лаборатории НИНИЦ ООО «Томсккабель» соблюдены, поэтому дополнительные мероприятия, направленные на улучшение условий, не требуются.

### *Шум*

С физиологической точки зрения шум рассматривают как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека.

Шумы в рассматриваемом помещении возникают как от внутренних источников, так и от внешних раздражителей. К внутренним источникам мы относим технику и вентиляционное оборудование. Используемая в процессе проведения исследования техника производит мало шума, поэтому в помещении достаточно использовать звукопоглощение. Чтобы уменьшить шум, который проникает в помещение извне, достаточно установить уплотнение по периметру притворов окон и дверей. Для персонала, осуществляющего работающего при легкой физической нагрузке и напряженности легкой степени эквивалентный уровень звука не должен превышать 80 дБА в соответствии с [15].

Меры при возможном превышении шума:

- Разработка шумобезопасной техники;
- Применение средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029;
- Применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051.

Таблица 20 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах

Вид трудовой деятельности, Рабочее место	Уровень звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентный уровень звука дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

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

#### *Освещение на рабочем месте*

Правильно организованное освещение рабочего места обеспечивает сохранность зрения и нормальное состояние нервной системы, а также безопасность в процессе производства. На рабочем месте освещение должно быть таким, чтобы работник мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Усталость органов зрения зависит от таких факторов, как недостаток света, чрезмерная освещенность, неправильное направление света.

Выполняемая работа относится к классу «малой точности». Согласно [24] для освещения промышленных предприятий регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 200 Лк.

Таблица 21 – Нормы искусственного освещения

Характери	Наимень	Разряд	Подраз	Контр	Хара	Освещенность, лк
-----------	---------	--------	--------	-------	------	------------------

стика зрительно й работы	ший или эквивален тный размер объекта различен ия, мм	зрител ьной работы	ряд зritel ьной работы	аст объек та с фоно м	к- терис - тика фона	При системе комбини- ровного освещени я		При систем е общег о освеще ния
						все го	В том числ е от общ его	
Малой точности	От 1 до 5	IV	а	Малы й	Темн ый	400	200	300
			б	Малы й Сред ний	Сред ний Темн ый	—	—	200
			в	Малы й Сред ний Боль шой	Свет лый Сред ний Темн ый	—	—	200
			г	Сред ний Боль шой	Свет лый Сред ний	—	—	200

Для обеспечения нормативной освещённости необходимо использовать совмещённое освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Искусственное освещение осуществляется с помощью электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Использование энергосберегающих ламп, по сравнению с лампами накаливания, имеет существенные преимущества:

- поспектральному составу света они близки к дневному;
- высокая светоотдача (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания);
- высокий КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);
- больше длительный срок службы.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

$H = 3,2$  – высота помещения, м;

$h_c = 0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (свес), м;

$h_n = H - h_c$  – высота светильника над полом, высота подвеса, м;

$h_p = 0,8$  – высота рабочей поверхности над полом, м;

$h = h_n - h_c$  – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p - h_c = 3,2 - 0,8 - 0,2 = 2,2 \text{ м.} \quad (30)$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{48}{2,2 \cdot (8+6)} = 1,56, \quad (31)$$

где  $A$  - длина помещения, м;

$B$  - ширина помещения, м;

$S$  - площадь освещаемого помещения:

$$S = A \cdot B = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2. \quad (32)$$

По значению  $i$  выбираются коэффициент использования освещенности,  $\eta = 0,46$  для светильника типа ШОД, с учетом того, что помещение имеет свежепобеленный потолок ( $p_n = 70 \%$ ), свежепобеленные с окнами без штор ( $p_c = 50 \%$ ).

Разрабатывается план помещения и размещение светильников:

где  $L$  - расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине ( $A$ ) и ширине ( $B$ ) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $L_A$  и  $L_B$ ), м;

$l$  - расстояние от крайних светильников или рядов до стены, м.

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Светильник ШОД имеет габаритные размеры 1530x284x155 мм.

Расстояние между светильниками  $L$  определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,2 = 2,64 \text{ м}, \quad (33)$$

где  $\lambda = 1,2$  - интегральный критерий оптимальности расположения светильников для светильника типа ШОД с защитной решеткой.

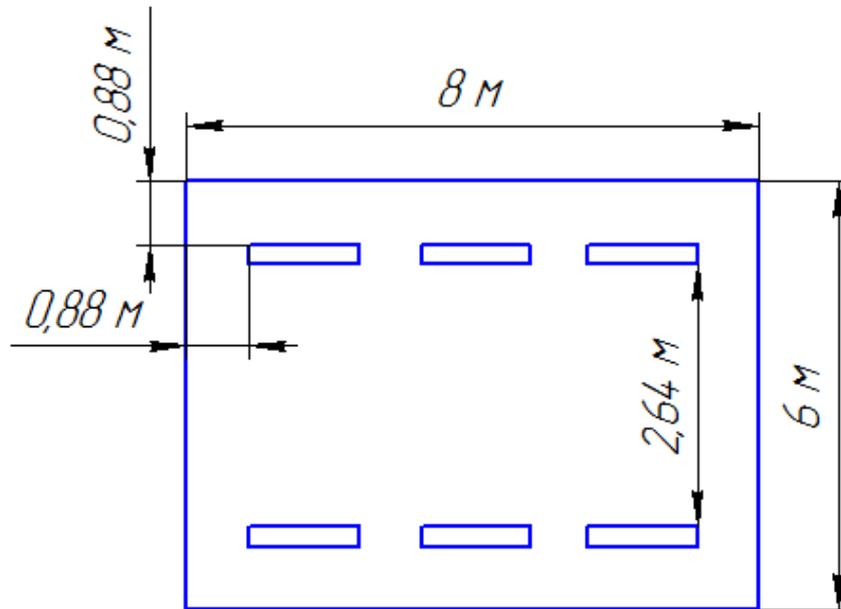


Рисунок 10 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Исходя из плана помещения и размещения светильников получается количество светильников равным  $n = 6$  (2 ряда светильников по 3 светильника в длину).

$$F = \frac{E_n \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,46} = 5340 \text{ Лм}, \quad (34)$$

где  $E_n = 200$  - нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, Лк;

$K = 1,5$  - коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли;

$Z = 1,1$  - коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп.

По световому потоку выбираем люминесцентную лампу ЛБ-80. Мощность всей осветительной системы:

$$P = 12 \cdot 80 = 960 \text{ Вт}. \quad (35)$$

## 5.2. Анализ опасных факторов

### *Электробезопасность*

Опасное и вредное воздействие на людей электрическим током, электрической дугой и электромагнитным полем проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Степень вредного и опасного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от:

- величины и рода тока и напряжения;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Производственные помещения по степени опасности поражения людей электрическим током в соответствии с [12] подразделяется на три категории. Лаборатория НИНИЦ ООО «Томсккабель» относится к третьей категории, т.е. к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» и «особую опасность».

Мерами, обеспечивающими безопасность при нормальном состоянии электрооборудования, является недоступность и рабочая изоляция токоведущих частей, защитное разделение сетей и малые напряжения.

К дополнительным мерам, устраняющим опасность при появлении напряжения на токоведущих частях, относится защитное заземление, защитное отключение, выравнивание потенциалов и двойная изоляция [12].

Выбор комплекса мер защиты, электротехнических средств и защитных мероприятий определяется видом электроустановки, величиной применяемого напряжения, условиями помещения, в котором расположена электроустановка и т.п.

Требования к работникам, допускаемым к выполнению работ в электроустановках в соответствии с [25]:

2.1. Работники обязаны проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ в электроустановках.

2.2. Работники должны проходить обучение по оказанию первой помощи пострадавшему на производстве до допуска к самостоятельной работе.

Электротехнический персонал, кроме обучения оказанию первой помощи пострадавшему на производстве, должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока с учетом специфики обслуживаемых (эксплуатируемых) электроустановок.

2.3. Работники, относящиеся к электротехническому и электротехнологическому персоналу, а также государственные инспекторы, осуществляющие контроль и надзор за соблюдением требований безопасности при эксплуатации электроустановок, специалисты по охране труда, контролирующие электроустановки, должны пройти проверку знаний требований Правил и других требований безопасности, предъявляемых к организации и выполнению работ в электроустановках в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности, требования к которой предусмотрены приложением N 1 к Правилам [25].

Требования Правил, установленные для работников из числа электротехнического персонала, являются обязательными и для работников из числа электротехнологического персонала.

2.4. Работник обязан соблюдать требования Правил, инструкций по охране труда, указания, полученные при целевом инструктаже.

Работникам, указанным в пункте 2.3 Правил и прошедшим проверку знаний требований Правил и других требований безопасности, предъявляемых к организации и выполнению работ в электроустановках, выдаются удостоверения о проверке знаний правил работы в

электроустановках, формы которых предусмотрены приложениями N 2, 3 к Правилам.

Результаты проверки знаний по охране труда в организациях электроэнергетики оформляются протоколом проверки знаний правил работы в электроустановках, форма которого предусмотрена приложением N 4 к Правилам, и учитываются в журнале учета проверки знаний правил работы в электроустановках, форма которого предусмотрена приложением N 5 к Правилам.

Результаты проверки знаний по охране труда для организаций, приобретающих электрическую энергию для собственных бытовых и производственных нужд, фиксируются в журнале учета проверки знаний правил работы в электроустановках, форма которого предусмотрена приложением N 6 к Правилам.

2.6. Стажировка, дублирование проводятся под контролем опытного работника, назначенного организационно-распорядительным документом (далее - ОРД).

Допуск к самостоятельной работе должен быть оформлен ОРД организации или обособленного подразделения.

2.7. Работник, в случае, если он не имеет права принять меры по устранению нарушений требований Правил, представляющих опасность для людей, неисправностей электроустановок, машин, механизмов, приспособлений, инструмента, средств защиты, обязан сообщить об этом своему непосредственному руководителю.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: защитные оболочки; защитные ограждения (временные или стационарные); безопасное расположение токоведущих частей; изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную); изоляцию рабочего места; малое напряжение; защитное отключение; предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности. [26]

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземление; зануление; выравнивание потенциала; система защитных проводов; защитное отключение; изоляцию нетоковедущих частей; электрическое разделение сети; малое напряжение; контроль изоляции; компенсация токов замыкания на землю; средства индивидуальной защиты. [26]

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

### **Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС - пожар, определение категории помещения по пожаровзрывобезопасности в котором происходят испытания, то есть лаборатория НИНИЦ ООО «Томсккабель» и регламентирование мер противопожарной безопасности.

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, 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 организационно-техническими мероприятиями.

По степени пожарной опасности, согласно [17], лабораторию НИНИЦ ООО «Томсккабель» можно отнести к категории В, так как в ней ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120°С.

В лаборатории, где проводились исследования, причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

Пожарная безопасность в лаборатории достигается комплексом профилактических мероприятий, включающих в себя организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относятся:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожароопасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в лаборатории.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.
5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

К техническим мероприятиям относятся:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.
2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом.

По окончании работы в лаборатории сотрудник уходящий последним, обязан:

- а) выключить прибор из сети;

- б) выключить рубильник;
- в) выключить освещение.

В лаборатории НИНИЦ ООО «Томсккабель» на случай пожара находится огнетушитель ОУ-8, предназначенный для тушения пожаров на электрических установках или оборудовании под напряжением. Пенный огнетушитель ОХЛ-10 предназначен для тушения огня в тех местах, где нет напряжения.

Для своевременной ликвидации элементов возгорания используют световые, тепловые и дымовые датчики, реагирующие на наличие того или иного фактора.

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

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

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

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где расположен диспетчерский пункт (пост управления), представлен на рисунке 17.



Рисунок 11 - План эвакуации при пожаре

Ответственность за нарушение Правил пожарной безопасности, согласно действующему федеральному законодательству, несет руководитель объекта.

### 5.3. Экологическая безопасность

ПВХ-пластикат, полиуретан и ТЭП очень устойчивы и инертны в обычных условиях. Они не вступают в реакцию с пищей, водой и бытовой химией. При попадании в организм эти полимеры абсолютно безвредны. Считается, что данный полимеры потенциально биологически опасен в двух случаях: во время производства и во время перегрева готового полимера. В процессе производства данных полимерных материалов используются токсичные и канцерогенные вещества, которые могут попадать в окружающую среду, как при утечках, так и в виде производственного загрязнения готового продукта. Продукты термического разложения токсичны.

Процесс исследования также может иметь влияние на окружающую среду, как и объект исследования. Но в данном случае, негативные

последствия могут быть вызваны только при возникновении пожара. В этом случае произойдет выброс продуктов горения за пределы производственного помещения. Помимо продуктов термического разложения используемых полимеров, согласно [14] среди продуктов горения, негативно сказывающихся на экологии окружающей среды, имеют место углекислый газ (более  $0,11 \text{ кг/м}^3$ ), угарный газ (более  $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ), соляная кислота (более  $23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ ) и другие.

При отсутствии аварийной ситуации, приводящей к выбросу продуктов термического разложения, также существуют следующие виды отходов, которые могут нанести вред окружающей среде:

- сброс сточных вод;
- твердые отходы.

Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Это комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня.

#### **5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях**

Согласно [13] потенциальная угроза жизни и здоровью населения в ЧС может реализоваться вследствие высвобождения в природную среду обитания человека больших количеств сконцентрированной энергии, опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов.

В связи с этим, мероприятия по защите должны осуществляться в объемах, обеспечивающих не превышение допустимого нормативного воздействия на людей реализовавшихся поражающих факторов. Если в силу складывающихся обстоятельств установленные нормативы допустимых опасных воздействий могут быть превышены, мероприятия по защите людей

надлежит проводить по направлениям и в масштабах, позволяющих максимально ослабить это воздействие.

Основные причины чрезвычайных ситуаций:

- влияние внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей;
- результаты стихийных бедствий и особо опасных инфекций;
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорости, температуры, вибрации);
- производственные дефекты сооружений (ошибки при исследовании и проектировании, плохое выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);
- нарушение правил безопасности при ведении работ и технологических процессов;
- ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью, и т. д.

Одним из условий быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

Для ликвидации последствий ЧС созданы следующие службы:

- оповещения и связи;
- противорадиационной и противохимической защиты;
- медицинская;
- аварийно-техническая;
- охраны общественного порядка.

## 5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников ООО «Томсккабель» с работодателем.

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

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;
- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;
- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;
- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;
- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;
- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;
- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;
- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;
- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;
- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;

- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;
- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;
- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности.

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

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

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

Обеспечивать за счет средств работодателя:

- Проведение инструктажей по охране труда, обучение лиц, поступающих на работу с вредными и (или) опасными условиями труда, безопасным методам и приемам выполнения работ со стажировкой на рабочем месте и сдачей экзаменов, проведение

периодического обучения по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в период работы.

- Проведение обязательных периодических медицинских осмотров (обследований) работников, в том числе женщин в женской консультации, в рабочее время по графику медицинских осмотров, с сохранением за ними места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанных медицинских осмотров.
- Наличие на производственных участках аптечек для оказания первой помощи пострадавшим и обработки микротравм; наличие в аптечках рекомендованного МЛПУ «Городская клиническая больница №1» перечня средств и медикаментов, их ежегодную замену.
- Выдачу молока работникам Общества в дни фактического выполнения работ, в том числе при выполнении работ временными ремонтными бригадами на местах с наличием вредных факторов в соответствии с медицинскими показаниями в количестве:
  - при длительности смены до 8 часов – 0,5 л (1 талон);
  - при длительности смены 11,5 часов – 0,75 л (3 талона на две смены).
- На горячих участках и участках с вредными условиями труда обеспечивать работников сухим чаем из расчета 8 грамм на одного человека в смену. Списки работников, которым необходимо выдавать чай, утверждаются совместным постановлением работодателя и профкома.
- На работах, связанных с загрязнением, выдавать бесплатно банное мыло по норме 400 грамм на одного человека в месяц.
- Выдачу работникам защитных паст в дни работы на основании перечня, утвержденного совместным постановлением работодателя и профкома.
- Бесплатную выдачу витаминных препаратов работникам, подвергающимся воздействию высокой температуры окружающей

среды и интенсивному теплооблучению при выполнении работ с особо вредными условиями труда в соответствии со списками, утвержденными совместным постановлением работодателя и профкома.

- Дополнительное страхование работников от несчастных случаев на производстве.

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

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом можно сделать вывод о том, что применение новых материалов на основе сплавов меди и алюминия в конструкции экрана имеет место быть, так как электрические и теплофизические свойства самого проводника экрана оказывают существенное влияние на потери в кабельном изделии. По результатам расчетных данных можно увидеть, что применение бронзы повышает передаваемую мощность кабеля на 10% по сравнению с медным экраном. В то же время выявлен серьезный недостаток, а именно значительное повышение сечения при использовании новых материалов. Данный вывод был сделан на основе расчета коэффициента пропорциональности, который показывает отношения сечения к току КЗ при аварийных режимах. Особенность данного коэффициента в том, что для его расчета выбирается диапазон температур ниже предельной допустимой для экрана, а именно 350 С, т.е. после КЗ можно продолжать эксплуатацию кабельной линии.

Данная тема актуальна в современном мире потому что, в настоящее время заводы - изготовители не пытаются произвести модернизацию конструкции экрана. Это открывает возможность для внедрения новых технологий с целью улучшения

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. **Ларина Э.Т.** Силовые кабели и кабельные линии: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 368 с
2. **Миллер В.В.** Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и кабельная арматура к ним. Технология сшивки, производство и контроль качества поставляемой продукции. Реконструкция и строительство кабельных сетей в городских условиях. - XIX-е заседание Ассоциации электроснабжения городов России «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО», тез. докл., Ханты-Мансийск, 2013.
3. **ГОСТ Р 55025-2012** Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия.
4. **Доклад** по силовым кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1-10 кВ. - Департамент топливно-энергетических ресурсов г.Москвы, 2005
5. **Боев А.** Сравнение кабелей с БПИ и СПЭ-изоляцией // Кабель-NEWS. - 2010. - № 11.
6. **ГОСТ Р МЭК 60287-2011** Кабели электрические расчет номинальной токовой нагрузки
7. **Ларина, Э. Т.** Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии : учебник для вузов / Э. Т. Ларина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Энергоатомиздат, 1996. — 464 с.: ил.
8. **Привезенцев, В. А.** Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии : учеб. пособие для энергет. и электротехн. вузов / В. А. Привезенцев, Э. Т. Ларина; ред. В. А. Привезенцев. - Москва: Энергия, 1970.

9. **Дмитриев, М.В.** Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 154 с.
10. **Дмитриев, М.В., Евдокунин Г.А.** Однофазные силовые кабели 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Расчет термической стойкости экранов одножильных кабелей при КЗ // *Новости Электротехники*. – 2008.- №2(50).
11. Основные характеристики проводниковых материалов [Электронный ресурс]. - <http://www.diagram.com.ua/list/elektriku/elektriku177.shtml>
12. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. - [http://metallicheskiy-portal.ru/articles/ydelnii\\_ves\\_metallov/](http://metallicheskiy-portal.ru/articles/ydelnii_ves_metallov/)
13. Экрана однофазных кабелей 6-500 кВ. Выбор сечения экрана [Электронный ресурс]. - <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/88/05.php>
14. Материалы для магнитных экранов. Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/m/2005/m6.pdf>
15. Материалы экранов. Пермаллой [Электронный ресурс]. - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пермаллой>
16. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие / Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. - М.: Издательство ТПУ, 2014. - 36 с.
17. Международный стандарт ICCSR26000:2011 «Социальная ответственность организации».
18. ГОСТ 12.1.004-91. "Пожарная безопасность. Общие требования".
19. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
20. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.
21. ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные. Технические условия.
22. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
23. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.

24. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
25. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
26. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
27. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
28. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
29. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
30. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
31. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
32. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
33. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
34. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
35. Приказ 328н. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.
36. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

