

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

---

Институт Электронного обучения  
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра электроэнергетических систем

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электрооборудование, режимы, релейная защита и автоматика КЭС мощностью 4000 МВт</b>

УДК – 621.316.925.1,621.311.2.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А2А1	Урункулов Одилжон Абдужалилович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Корнев В.А.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсо эффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	Доцент, к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	Доцент, к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулаймонов А.О.	Доцент, к.т.н.		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>	
<b>P1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественнонаучные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем
<b>P2</b>	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов
<b>P3</b>	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
<b>P4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
<b>P5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
<b>P6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях - потенциальных работодателях.
<i><b>Универсальные компетенции</b></i>	
<b>P7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
<b>P8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники
<b>P9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
<b>P10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>P11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>P12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

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

Институт Электронного обучения  
 Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
 Кафедра электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ А.О.Сулаймонов  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A2A1	Урункулову Одилжону Абдужалиловичу

Тема работы:

Электрооборудование, режимы, релейная защита и автоматика КЭС мощностью 4000 МВт	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.05.17г. № 316/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2017 г.
--	-----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрическая схема объекта</li> <li>2. Параметры объекта</li> </ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Постановка задачи</li> <li>2. Роль и место защищаемого объекта в энергосистеме</li> <li>3. Выбор устройств релейной защиты и автоматики</li> <li>4. Планирование расчетных аварийных режимов</li> </ol>

<i>исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>		5. Расчет параметров срабатывания устройств релейной защиты и автоматики 6. Экономическая часть 7. Безопасность жизнедеятельности 8. Заключение
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		1. Главная электрическая схема электростанции-1л 2. Схема подключения защит-1 л
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович	
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Корнев Василий Александрович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A2A1	Урункулов Одилжон Абдужалилович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит страниц-99, рисунков-14, таблиц-25, источников-11.

Ключевые слова: энергосистема, короткое замыкание подстанция, турбогенератор, автотрансформатор, релейная защита, автоматика, дистанционная защита, расчет защит, токовая направленная защита нулевой последовательности, газовая защита, повреждение, реле, шкаф защит, уставка, чувствительность.

Объектом разработки является релейная защита и автоматика основного электрооборудования КЭС мощностью 4000 МВт.

Выбор силового оборудования электрической станции, релейной защиты блока генератор - трансформатор мощностью 800 МВт, расчет уставок выбранных защит.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MathCAD, текстовый редактор MSWord 2010.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

АВР – автоматический ввод резерва

АПВ – автоматическое повторное включение

АТ – автотрансформатор

ВН – высокое напряжение

ДЗТ – дифференциальная защита трансформатора

ДО – дифференциальная отсечка

КЗ – короткое замыкание

МТЗ – максимальная токовая защита

НН – низкое напряжение

ОВПФ – опасные и вредные производственные факторы

ОПУ – обще подстанционный пункт управления

ОРУ – открытое распределительное устройство

ПА – противоаварийная автоматика

ПС – подстанция

ПТЭ – правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

ПУЭ – правила устройства электроустановок

РЗА – релейная защита и автоматика

РПН – регулировка напряжения под нагрузкой

СН – среднее напряжение

СТЗНП – ступенчатая токовая защита нулевой последовательности

ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности

ТЗОП – токовая защита обратной последовательности

ТЭО – технико-экономическое обоснование

УРЗА – устройство релейной защиты и автоматики

УРОВ – устройство резервирования отказа выключателя

## Оглавление

№	Стр.	
	Введение	9
	Обзор литературы	10
1	Структурная схема станции	11
	1.1 Описание структурной схемы электрических соединений гостанции	11
	1.2 Исходные данные	12
	1.2.1 Общий баланс активных мощностей	12
	1.2.2 Выбор структурной схемы станции	13
	1.3 Выбор трансформаторов и автотрансформаторов	14
	1.3.1 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей	17
	1.3.2 Выбор тока проводов	23
	1.3.3 Выбор проводников от блочного трансформатора Т1 до сборных шин	26
	1.3.4 Принципиальная схема управления выключателем и сигнализации	30
	1.3.5 Общие сведения	31
	1.4 Краткая информация о замещаемом объекте	32
	1.4.1 Выбор обоснование устанавливаемых защит	35
	1.4.2 Повреждение электро генераторов	35
	1.4.3 Ненормальные режимы работы генераторов	36
2	Выбор защит	37
	2.1 Защита генератора	39
	2.1 Дифференциальная защита	39
	2.2 Защита от потери возбуждения	40
	2.3 Дистанционная защита эл.генератора от межфазных КЗ	41
	2.4 Защита от замыканий на землю в обмотках статора	44
	2.5 Защита от замыканий на землю в обмотках ротора	45
	2.6 Защита от повышения напряжения генератора и трансформатора блока при его работе на холостом ходу	45
	2.7 Защита от симметричных перегрузок обмотки статора	46
	2.8 Защита обмотки ротора	47
	2.9 Защита от несимметричных перегрузок и внешних несимметричных замыканий	48
	2.10 Расчет токов КЗ для определения параметров защиты	50

3	Защита трансформатора	51
	3.1 Дифференциальная защита трансформатора блока	51
	3.2 Дифференциальная токовая отсечка	53
	3.3 Токовая отсечка от межфазных коротких замыканий	53
	3.4 Защита от перегрузки	53
	3.5 Защита от внешних коротких замыканий на землю	54
	3.6 Газовая защита трансформатора	55
4	Схема защит	56
	4.1 Заключение	57
5	Финансовый менеджмент , ресурса эффективность и ресурсосбережение	58
	5.1 Планирование научно-технического исследования	58
	5.2 Расчет научно-технической эффективности	59
	5.3 Расчет затрат на проектирование РЗ	62
	5.4 Бюджет научно-технического исследования	66
	5.5. Определение капитальных вложений в РЗ и А	71
6	Социальная ответственность	73
	6.1 Производственная безопасность	75
	6.2 Пожарная безопасность	80
	6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	91
	Список использованных источников	93
	Приложение А	
	Приложение Б	

## **Введение**

Данная дипломная работа включает выбор защит для блока генератор-трансформатор, планирование и расчет типичных аварийных режимов, расчет ставок защит и оценка их чувствительности.

Релейная защита является это основной вид электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надежная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов.

Таким образом, эти повреждения нарушают работу энергосистемы и потребителей электроэнергии, а ненормальные режимы энергосистем создают возможность возникновения повреждений или расстройства работы

Данная дипломная работа включает выбор защит для блока генератор-трансформатор, планирование и расчет типичных аварийных режимов, расчет ставок защит и оценка их чувствительности.

В дипломной работе предстоит задача рассчитать релейную защиту блока генератор-трансформатор, находящийся в КЭС, спроектированной и рассчитанной на дисциплине «Электрические станции и подстанции». Расчет будет произведен для блока генератор-трансформатор на РУ СН 220 кВ.

## Обзор литературы

Релейная защита является важной частью автоматики, которая используется в современных энергосистемах. Рассмотрев существующие работы в данной области можно сделать вывод, что изучению релейной защиты уделяется большое внимание. На сегодняшний день опубликовано большое количество изданий, в которых содержится информация для разработки защит электроустановок. Обязательные требования к релейной защите описаны в ПУЭ. Однако в данном источнике приведены только основные понятия. Более подробно схемы защит рассматриваются в работе Бурнашева А.Н.

В связи с тем, что основные принципы релейной защиты остаются неизменными, не теряют своей актуальности труды таких авторов, как Неклепаев Б. Н., Крючков И. П., Федосеев А. М., Федосеев М. А.

Тем не менее, устройства РЗА постоянно развиваются, поэтому необходимо обновлять знания персонала для эффективной работы с современным оборудованием. Такая возможность существует благодаря публикации производителями УРЗА документации на своих официальных сайтах.

Применение специализированных компьютерных программ существенно облегчает расчёт параметров ЭЭС и уставок релейной защиты. Описание одной из таких программ (ТКЗ-3000) рассмотрено в работе Шмойлова А.В.

Раздел ВКР «Финансовый менеджмент, ресурсо эффективность и ресурсосбережение» был выполнен на основании методики, приведенной в работе Коршуновой Л.А., Кузьминой Л.Г.

Раздел «Социальная ответственность» был разработан с помощью нормативных документов, посвящённых теме безопасности жизнедеятельности.

## **1. Структурная схема станции**

Конденсационный электростанции (КЭС), обычно располагают вдали от потребителя электрической энергии. Электроэнергия распределяется преимущественно наповышенном напряжении. Схеме выдачи мощности электроэнергии на Конденсационный электростанции (КЭС), характеризуется блоками соединением генераторов с трансформаторами. В блоке между генераторами повышающим трансформатором двух обмоточным как правило, должен устанавливаться генераторный выключатель. Соответствующий токо отключения, отсутствие выключателя допускается применение выключателя нагрузки, что характерно для блоков 800-4000 МВт.

### **1.1 Описание структурной схемы электрических соединений электростанции**

Поисходнымданнымопределяем, что задана электростанция конденсационного типа (КЭС). Электро станция рассматриваемого типа в большинстве случаев выдает электроэнергию на шины двух классов напряжения  $U_1 = 220$  кВ и  $U_2 = 500$  кВ.

Основные особенности: Конденсационный электростанции (КЭС), отделённость электроэнергии от потребителей, что определяет в основном передачу мощности на высоких и сверх высоких напряжениях, и блочный принцип построения электростанции.

Как уже ранее, схемы передачи электроэнергии на конденсационный электростанции (КЭС), характеризуются блоками соединением генераторов с трансформаторами.

## 1.2 Исходные данные

Таблица 1-1 Данные выбранного турбогенератора

№ задания	Генераторы			Энергосистема				Нагрузка потребителей				
	Количество	Мощность	Напряжение	Мощность	Напряжение	Реактивное сопротивление	Количество линий связи	Напряжение	Количество линий	Мощность	Коэффициент системы	Коэффициент мощности
-	шт.	МВт	кВ	МВт	кВ	%	шт.	кВ	шт.	МВт	кВ	кВ
30	5	800	24	1200	500	400	2	220	10	145	0,87	0,89
								500	5	580	0,81	0,85

### 1.2.1 Общий баланс активных мощностей

1. Установленная мощность электростанции, равная суммарной мощности генераторов, предназначенных к установке определяется:

$$P_{уст} = \sum_{i=1}^n P_{Gi} = 5 \cdot 800 = 4000 \text{ МВт}$$

где  $i = 1, 2, \dots$  — номер генератора мощностью  $P_{Gi}$ ,

$n$  — количество генераторов.

2. Нагрузка потребителей, присоединенных к шинам с напряжением 220 кВ:

$$P_{U_1} = K_{CU_1} \sum_{i=1}^m P_i = 0,87 \cdot 10 \cdot 145 = 1261,5 \text{ МВт}$$

где  $K_{CU_1}$  — коэффициент системы для потребителей на напряжении  $U_1$ ,

$i = 1, 2, \dots$  — номер потребителя мощностью  $P_i$ ,  $m$  — количество потребителей на напряжении  $U_1$ .

3. Нагрузка потребителей, присоединенных к шинам с напряжением 500 кВ:

$$P_{U_2} = K_{CU_2} \sum_{i=1}^l P_1 = 0,81 \cdot 5 \cdot 580 = 2349 \text{ МВт}$$

где  $K_{CU_2}$  — коэффициент системы для потребителей на напряжении  $U_2$ ,

$i = 1, 2, \dots$  — номер потребителя мощностью  $P_1$ ,

$l$  — количество потребителей на напряжении  $U_2$ .

4. Суммарная мощность, отдаваемая внешним потребителям:

$$\sum P = P_{U_1} + P_{U_2} = 1261,5 + 2349,0 = 3610,5 \text{ МВт}$$

Расход мощности на собственные нужды электростанции (согласно дополнительным условиям задания):

$$P_{с.н.} = 0,1 \cdot P_{уст} = 0,1 \cdot 4000 = 400,0 \text{ МВт.}$$

5. Баланс активной мощности в нормальном режиме составляет резерв мощности электростанции:

$$\Delta P = P_{уст} - \sum P - P_{с.н.} = 4000 - 3610,5 - 400,0 = -10,5 \text{ МВт.}$$

## 1.2.2 Выбор структурной схемы станции

КЭС обычно располагают вдали от потребителя электрической энергии.

Электроэнергия распределяется преимущественно на повышенном напряжении. Схемы выдачи электроэнергии на Конденсационная Электра станция характеризуются блочными соединениями электра генераторами с электра трансформаторами. В блоке между электрогенератором и двух обмоточным повышающим электра трансформатором, как правило, должен устанавливается генераторный выключатель. При отсутствии выключателя ток отключения допускается применение выключателя нагрузки, это характерно для блоков 800 – 4000 МВт.

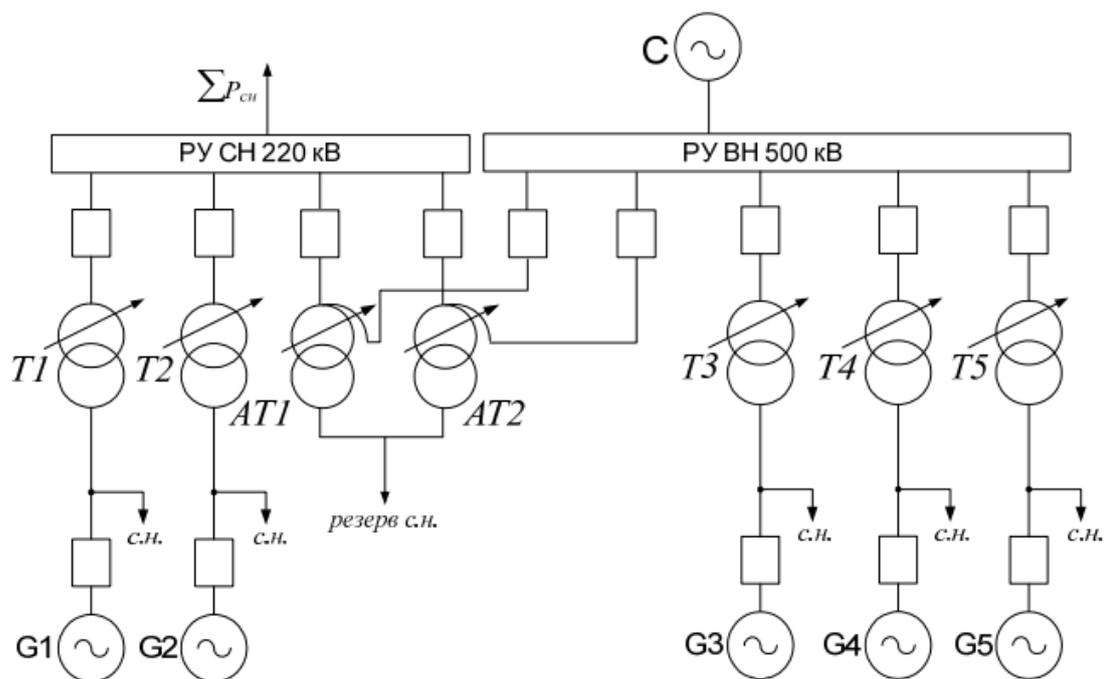


Рисунок 1 – Структурная схема станции

Таблица 1-2 – Параметры генераторов

Тип	$S_{Гном}, МВА$	$U_{ном}, кВ$	$I_{ном}, кА$	$cos f$	$X_{-d}$
ТВВ-800-2	889	24	21,4	0,9	0,219

Таким образом, количество генераторов, присоединенных к средней стороне равно 2 x 800МВт, к высокой — 3 x 800 МВт.

### 1.3. Выбор трансформаторов и автотрансформаторов

а) Так как на КЭС имеются электра генераторы, работающие в блоках с двух обмоточными электра трансформаторами, при этом мощность трансформаторного блока с учетом собственных нужд электростанции определяется по выражению:

$$S_{тр.бл.Т1-Т5} \geq \sqrt{(P_{Гном1} - P_{с.н.})^2 + (Q_{Гном1} - Q_{с.н.})^2} = \\ = \sqrt{(800 - 80,0)^2 + (387 - 38,7)^2} = 800 МВА,$$

где  $P_{Гном1}$ ,  $Q_{Гном1}$  — номинальные активная и реактивная мощности генераторов;

$P_{с.н.}$ ,  $Q_{с.н.}$  — расход активной и реактивной мощности на собственные нужды электро генератора

Принимаем двух обмоточные трансформаторы типа ТНЦ -1000000/500 и ТНЦ- 1000000/220

Частично расчетов по выбору автотрансформаторов сведем в таблицу.

Таблица 1-3- Расчетные перетоки через обмотки трансформаторов

режимы Расчетные	PMBтQ, MВАp S, MBA	Нормальный режим		Аварийный режим
		Макс. нагрузка	Мин. нагрузка ( $K_{min}=0,7$ )	Отключение $G_1$
Нагрузка на шинах СН	$\sum P_{CH}$	1261,5	883,1	1261,5
	$\sum Q_{CH} = \sum P_{CH} \cdot \text{tg } \varphi$	646,3	452,4	646,3
Мощность генераторов, присоединенных к шинам СН	$P_{G_{CH}} = \sum P_{G_i}$	1600	1600	800
	$\sum Q_{G_{CH}} = \sum P_{G_i} \cdot \text{tg } \varphi_{G_{НОМ}}$	774,9	774,9	387,5
Нагрузка собственных нужд генераторов, присоединенных к шинам СН	$P_{с.н.СН}$	160,0	160,0	112,0
	$Q_{с.н.СН}$	77,5	77,5	54,2
Переток мощности через обмотки СН трансформаторов	$\Delta P_{CH} = P_{G_{CH}} - P_{с.н.СН} - \sum P_{CH}$	178,5	557,0	-573,5
	$\Delta Q_{CH} = Q_{G_{CH}} - Q_{с.н.СН} - \sum Q_{CH}$	51,1	245,0	-313,1
Переток мощности через обмотки ВН трансформаторов	$\Delta P_{ВН} = \Delta P_{CH}$	178,5	557,0	-573,5
	$\Delta Q_{ВН} = \Delta Q_{CH}$	51,1	245,0	-313,1
Расчетные перетоки полной мощности через обмотки трансформаторов	$\Delta S_{CH} = \sqrt{\Delta P_{CH}^2 + \Delta Q_{CH}^2}$ $\Delta S_{ВН} = \sqrt{\Delta P_{ВН}^2 + \Delta Q_{ВН}^2}$	185,7	608,5	653,4

В аварийном режиме при расчете учитываем расход электроэнергии собственные нужды отключенного генератора 4 % .

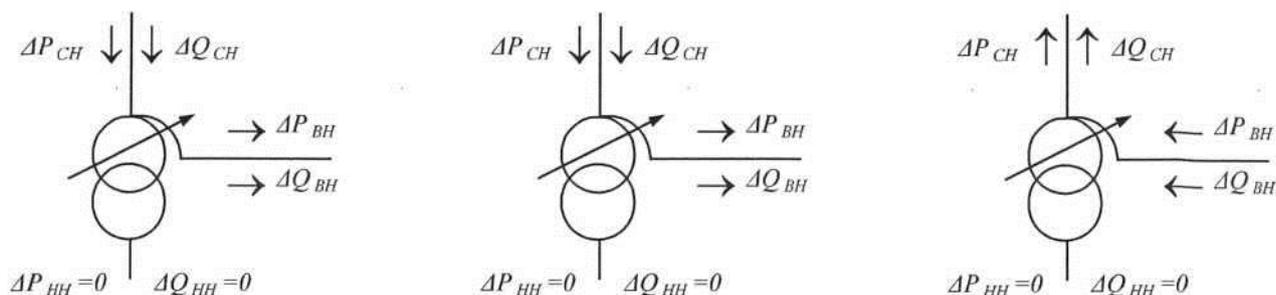


Рисунок 1-2 - Перетоки мощности через обмотки АТ в максимальном, минимальном и аварийном режимах работы соответственно.

Во всех режимах работы трансформаторы работают только в автотрансформаторном режиме. Максимальная мощность, протекаемая через обмотки трансформатора, будет в послеаварийном режиме. Так как перетоки обмоток СН и ВН равны, то выбираем трансформатор по полной проходной мощности.

$$S_{AT1} = S_{AT2} \geq \frac{\Delta S_{CH}}{(n-1) \cdot K_n} = \frac{653,4}{(2-1) \cdot 1,4} = 466,7 \text{ МВА},$$

где  $K_n$  — коэффициент перегрузки трансформаторов;

$n$  — количество трансформаторов связи.

Выбираем два автотрансформатора типа *3хАОДЦТН-167000/500/220*

Таблица 1-4 - Параметры трансформаторов и автотрансформаторов

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВА	$U_{\text{ном}}$ ,кВ			$U_k$ ,%			$P_k$ , кВт			$P_x$ , кВт	$I_x$ ,%
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н	В-С	В-Н	С-Н		
ТНЦ-1000000/220	1000	242	—	24	—	11,5	—	—	2200	—	480	0,4
ТНЦ-1000000/500	1000	525	—	24	—	14,5	—	—	1800	—	570	0,4
<i>3хАОДЦТН- 167000/500/220</i>	501	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	38,61	11,0	35,0	21,5	315	105	95	90	0,25

### 1.3.1. Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей

#### а) Выбор выключателей и разъединителей

Выбираем выключатели и разъединители для расчетного присоединения по следующим параметрам

- по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

- по току  $I_{норм} \leq I_{ном}$ ,  $I_{норм} \leq I_{ном}$

- по электродинамической стойкости – для выключателей  $I_{н.0} \leq I_{дин}$ ,  $i_{уд} \leq i_{дин}$

Для разъединителей  $i_{уд} \leq i_{пр.с}$

Где  $I_{дин}$ ,  $i_{дин}$  – действующее значение периодической составляющей сквозного тока КЗ и наибольший пик (ток электродинамической стойкости)

$i_{пр.с}$  – амплитуда предельного сквозного тока КЗ.

- по термической стойкости  $B_k \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$

Где  $B_k$  – тепловой импульс по расчету

$I_{тер}$  – предельный ток термической стойкости

$t_{тер}$  – длительность протекания предельного тока термической стойкости.

Кроме того выключатели нужно так же проверить по следующим параметрам-

- на симметричный ток отключения  $I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$

Где  $I_{отк.ном}$  – номинальный ток отключения.

- на отключение аperiodической составляющей тока КЗ

$$i_{а.т} \leq i_{а/аном} = \sqrt{2} * \beta_n * I_{отк.ном} / 100$$

где  $i_{а/аном}$  – номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени  $T = t_{з.мин} + t_{с.в}$

$\beta_n$  – нормированное значение содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе.

$t_{з.мин} = 0,01$  сек. – минимальное время действий релейной защиты.

- по отключающей способности  $\sqrt{2} * I_{н.т} + i_{а.т} \leq \sqrt{2} * I_{отк.ном} * (1 + \beta_n / 100)$ .

С учетом вышеизложенного, выбор выключателей сведем в таблицу.

Таблица 1-5 –Выбор выключателей и разденителей.

Расчетные данные	Выключатель ВВБК-220Б-56/3150	Разъединитель РДЗ-1(2)-220/3200У1
$U_{уст} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
$I_{max} = \frac{S_{номГ1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{889 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 2333,0 \text{ А}$	$I_{ном} = 3150 \text{ А}$	$I_{ном} = 3200 \text{ А}$
$I_{н,д}^{(1)} = 37,0 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 56 \text{ кА}$	–
$i_{а,з}^{(1)} = 16,3 \text{ кА}$	$i_{а,ном} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{отк.ном}}{100} = \frac{\sqrt{2} \cdot 47 \cdot 56}{100} = 37,2 \text{ кА}$	–
$\sqrt{2} \cdot I_{н,д}^{(1)} + i_{а,з}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 37,0 + 16,3 = 68,7 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном} \cdot (1 + \beta_n / 100) = \sqrt{2} \cdot 56 \cdot (1 + 47 / 100) = 116,4 \text{ кА}$	–
$I_{н,0}^{(3)} = 29,7 \text{ кА}$	$I_{отк} = 56 \text{ кА}$	–
$i_{yo}^{(3)} = 72,0 \text{ кА}$	$i_{отк} = 143 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 125 \text{ кА}$
$B_{к} = I_{н,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.а} + T_{а}) = 29,7^2 \cdot (0,1 + 0,04 + 0,030) = 149,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 56^2 \cdot 3 = 9408 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Расчетные данные	Выключатель КАГ-24-30/30000У3	Так как в схеме применен выключатель нагрузки КАГ-24-30/30000У3, то выбирать разъединитель не требуется.
$U_{уст} = 24,00 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 24 \text{ кВ}$	
$I_{max} = \frac{S_{номГ1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 0,95} = \frac{889 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 24,00 \cdot 0,95} = 22511,6 \text{ А}$	$I_{ном} = 30000 \text{ А}$	
$I_{н,д} = 103,2 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 30000 \text{ кА}$	
$i_{а,з} = 108,6 \text{ кА}$	–	
$\sqrt{2} \cdot I_{н,д} + i_{а,з} = \sqrt{2} \cdot 103,2 + 108,6 = 254,6 \text{ кА}$	–	
$I_{н,0} = 103,2 \text{ кА}$	–	
$i_{yo} = 289,1 \text{ кА}$	$i_{отк} = 360 \text{ кА}$	
$B_{к} = I_{н,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.а} + T_{а}) = 103,2^2 \cdot (0,1 + 0,14 + 0,540) = 8313,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 150^2 \cdot 1 = 22500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

### **б) Выбор измерительных трансформаторов**

Подробно приводим выбор трансформаторов тока в цепях генераторов, на выключателях отходящих линий и на силовом трансформаторе.

Таблица 1-6 - Нагрузка ТТ

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Генератор G1	Амперметр	Э—355	0,5	—	—
	Амперметр	Э — 355	—	0,5	—
	Амперметр	Э — 355	—	—	0,5
	Амперметр рег-щий	Н — 393	—	10	—
	Ваттметр	Д— 335	0,5	—	0,5
	Ваттметр рег-щий	Н — 395	10	—	10
	Варметр	Д— 335	0,5	—	0,5
	Счетчик W	И674	2,5	—	2,5
	Датчик P	Е — 829	1,0	—	1,0
Датчик Q	Д— 830	1,0	—	1,0	
<b>Итого:</b>			<b>16,0</b>	<b>10,5</b>	<b>16,0</b>
Выключатели отходящих линий 220 кВ	Амперметр	Э — 355	—	0,5	—
	Ваттметр	Д— 335	0,5	—	0,5
	Варметр	Д— 335	0,5	—	0,5
	Счетчик W	И674	2,5	—	2,5
	Счетчик V	И673	2,5	—	2,5
<b>Итого:</b>			<b>6,0</b>	<b>0,5</b>	<b>6,0</b>
Тр-тор Т1(ВН)	Амперметр	Э — 355	—	0,5	—

Таблица 1-7 - Нагрузка ТН

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм},$ В·А	$n_{обм}$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$n_{приб}$	Потр. мощн.	
								P, Вт	Q, Вар
Генератор G1	Вольтметр	Э— 335	2	1	1	0	1	2	0
	Вольтметр рег.	Н— 394	10	1	1	0	1	10	0
	Ваттметр	Д— 335	1,5	2	1	0	1	3	0
	Ваттметр рег.	Н— 395	10	2	1	0	1	20	0
	Варметр	Д— 335	1,5	2	1	0	1	3	0
	Счетчик W	И674	8	2	0,38	0,93	1	6	14,7
	Датчик P	Е— 829	10	—	1	0	1	10	0
Датчик Q	Е— 830	10	—	1	0	1	10	0	
<b>Итого:</b>								<b>64</b>	<b>14,7</b>
Выключатели отходящих линий 220 кВ	Ваттметр	Д— 335	1,5	2	1	0	10	30	0
	Варметр	Д— 335	1,5	2	1	0	10	30	0
	Счетчик W	И674	8	2	0,38	0,93	10	60	146,8
	Счетчик V	И673	8	2	0,38	0,93	10	60	146,8
<b>Итого:</b>								<b>180</b>	<b>293,7</b>
Сборные шины СН	Вольтметр	Э— 335	2	1	1	0	3	6	0
	Вольтметр рег.	Н— 394	10	1	1	0	1	10	0
	Частотомер рег.	Н— 397	7	1	1	0	1	7	0
	Частотомер	Э— 362	1	1	1	0	2	2	0
	Синхроноскоп	Э— 3327	10	1	1	0	1	10	0
<b>Итого:</b>								<b>35</b>	<b>0</b>

Пример выбора ТТ в цепи статора генератора с учетом вторичной загрузки.

Из таблицы №6 видно, что наиболее загружены фазы А и С. Для них ведем расчет:

Общее сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{16,0}{5^2} = 0,64 \text{ Ом}$$

где  $S_{\text{приб}}$  — мощность потребляемая приборами (из таблицы);

$I_2$  — вторичный номинальный ток предварительно намеченного ТТ: *ТШВ24-24000-УЗ* .

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k = 4,0 - 0,64 - 0,1 = 3,26 \text{ Ом},$$

где  $Z_{2\text{ном}}$  — номинальная допустимая нагрузка ТТ в выбранном классе точности для намеченного трансформатора тока ;

$r_k$  — сопротивления контактов (0,05 Ом при двух-трех приборах; 0,1 Ом при большем количестве приборов).

Для присоединения к ТТ приборов используем кабель с медными жилами, длиной  $l_{\text{пр}} = 40$  м и сечением:

$$q_{\text{расч}} = \rho \cdot l_{\text{пр}} / r_{\text{пр}} = 0,0175 \cdot 40 / 3,26 = 0,2 \text{ мм}^2,$$

где  $\rho = 0,0175 \text{ Ом/мм}^2$  — удельное сопротивление медного провода .

Принимаем кабель марки КРВГ сечением  $q = 2,5 \text{ мм}^2$ .

Тогда сопротивление проводника:

$$r_{\text{пр}} = \rho \cdot l_{\text{пр}} / q = 0,0175 \cdot 40 / 2,5 = 0,280 \text{ Ом},$$

Вторичная нагрузка ТТ:

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_k = 0,64 + 0,280 + 0,1 = 1,020 \text{ Ом}.$$

Проверка на термическую стойкость:

$$(k_{\text{тер}} \cdot I_{1\text{ном}})^2 \cdot t_{\text{тер}} = (6 \cdot 24)^2 \cdot 3 = 62208 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 8313,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

где  $k_{\text{тер}}$  — кратность термической стойкости ;

$t_{\text{тер}}$  — время термической стойкости ;

$I_{1\text{ном}}$  — первичный номинальный ток ТТ

Проверка на динамическую стойкость у ТТ для шино проводов не производится.

Дальнейший расчет сведем в таблицу.

Таблица 1-8 - Выбор ТТ

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
ТШВ24-24000-У3 Генератор G1	$U_{\text{уст}} = 24,00 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 24 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 22511,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 24000 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 8313,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 62208 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 289,1 \text{ кА}$	не проверяется
	$r_2 = 1,020 \text{ кА}$	$Z_{2\text{ном}} = 4,0 \text{ кА}$
ТФЗМ220Б-У1 Выключатели отходящих линий	$U_{\text{уст}} = 220 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 427,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1200 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 149,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4610 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 72,0 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$
ТВТ220-У1 Трансформатор Т1	$U_{\text{уст}} = 220 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 2333,0 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 3000 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 149,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 16875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 72,0 \text{ кА}$	—

Генератор G1:

Намечаем установку ТН типа *ЗНОМ-24-69У1* с  $U_{\text{ном}} = 24,00/\sqrt{3} \text{ кВ}$ ,  
 $S_{\text{ном}} = 75 \text{ В} \cdot \text{А}$  в классе точности 0,5.

Вторичная нагрузка ТН:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{64^2 + 14,7^2} = 65,7 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{ном}} = 75 \cdot 3 = 225 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Т.о., оставляем выбранный трансформатор напряжения.

Для соединения ТН с приборами принимаем контрольный кабель КРВГ с сечением жил  $q = 2,5 \text{ мм}^2$  по условию механической прочности .

**Выключатели отходящих линий:**

Намечаем установку ТН типа *НКФ-220-58У1* с  $U_{\text{ном}} = 220/\sqrt{3} \text{ кВ}$ ,  
 $S_{\text{ном}} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}$  в классе точности 0,5.

Вторичная нагрузка ТН:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{180^2 + 293,7^2} = 344,5 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{НОМ}} = 400 \cdot 3 = 1200 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Т.о., оставляем выбранный трансформатор напряжения.

Для соединения ТН с приборами принимаем контрольный кабель КРВГ с сечением жил  $q = 2,5 \text{ мм}^2$  по условию механической прочности.

### **Сборные шины:**

Намечаем установку ТН типа *НКФ-220-58У1* с  $U_{\text{НОМ}} = 220/\sqrt{3} \text{ кВ}$ ,  $S_{\text{НОМ}} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}$  в классе точности 0,5.

Вторичная нагрузка ТН:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{35^2 + 0,0^2} = 35 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{НОМ}} = 400 \cdot 3 = 1200 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Т.о., оставляем выбранный трансформатор напряжения.

Для соединения ТН с приборами принимаем контрольный кабель КРВГ с сечением жил  $q = 2,5 \text{ мм}^2$  по условию механической прочности.

### **в) Выбор проводников**

Основное электрическое оборудование электростанций и подстанций (генераторы, трансформаторы и т.д.) и аппараты в этих цепях (разъединители, выключатели и т.п.) соединяются между собой проводниками разного типа, которые образуют токоведущие части электрической установки.

Выбор токоведущих частей произведем для трех участков расчетного присоединения:

- выводы генератора G1;
- сборные шины РУ;
- выводы блочного трансформатора Т1 к системе сборных шин.

### 1.3.2 Выбор токо проводов

На КЭС участок от генератора до блочного электро трансформатора и отпайки к электро трансформатору собственных нужд выполняются комплектным пофазно- экранированным токо проводом (КЭТ).

Таблица 1-9 - Параметры КЭТ

Тип оборудования	ТВВ-800-2	ТЭКН-П-24-24000-560
$U_{НОМ}, \text{кВ}$	24	24
$I_{НОМ}, \text{А}$	21400	24000
Электродинамическая	$i_{уд} = 289,1 \text{ кА}$	$i_{дин} = 560 \text{ кА}$
Тип встроенных ТТ	—	ТШВ24-24000-У3
Тип встроенных ТН	—	ЗНОМ-24-69У1

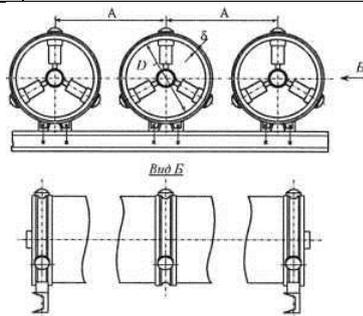


Рисунок 1-3 - Пофазно-экранированный токопровод типа ТЭКН

### Сборные шины СН

Принимаем сечение по допускаемому току при максимальной нагрузке на шинах, току равному наиболее мощного присоединения, а именно к блокам генератора и трансформатора:

$$I_{max} = \frac{S_{НОМГ1}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{889 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 2333,0 \text{ А}$$

Принимаем три стале алюминиевых провода АС – 400 / 51 мм<sup>2</sup>

С  $I_{доп} = 2475 \text{ А}$  [2, стр. 624, табл. ПЗ.3.]

- проверка сечения на нагрев:

$$I_{max} = 2333 \text{ А} < I_{доп} = 2475 \text{ А проверка проходит;}$$

- по условию механической прочности минимально допустимое сечение для стале алюминиевых проводов  $F_{min, доп} = 25 \text{ мм}^2$ , что меньше,

чем принятое сечение, поэтому данная проверка проходит;

- проверка по условию коронирования:

Начальная критическая напряженность:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left[ 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right] = 30 \cdot 0,8 \cdot \left[ 1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,38}} \right] = 31,2 \text{ кВ/см},$$

где  $m = 0,82$  — коэффициент шероховатости многопроволочных проводов ;

$r_0 = 1,38$  см — радиус провода.

Коэффициент, учитывающий число проводов в фазе:

$$k = 1 + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{r_0}{a} = 1 + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{1,38}{30} = 1,16 ,$$

где  $a = 30$  — расстояние между проводами в расщепленной фазе в зависимости от напряжения.

Эквивалентный радиус:

$$r_{\text{эк}} = \sqrt[3]{r_0 \cdot a^2} = \sqrt[3]{1,38 \cdot 30^2} = 10,7 \text{ см}$$

Напряженность вокруг провода:

$$E = k \cdot \frac{0,354 \cdot U}{n \cdot r_0 \cdot \lg \frac{1,26 \cdot D}{r_{\text{эк}}}} = 1,16 \cdot \frac{0,35 \cdot 242}{3 \cdot 1,38 \cdot \lg \frac{1,26 \cdot 400}{10,7}} = 14,4 \text{ кВ/см},$$

где  $D = 4$  м — **расстояние между проводниками фаз;**

$U = 1,1 \cdot U_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 220 = 242$  кВ для электростанций.

$n = 3$  шт — **количество проводников в фазе.**

По условию:  $1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0$ , имеем:

$1,1 \cdot 14,4 = 15,4$  кВ/см  $< 0,9 \cdot 31,2 = 28,1$  кВ/см, проверка проходит;

- проверка на термическое действие тока ВЛЭП не производится ;

- так как  $i_{\text{уд}} > 50$  кА производим проверку на электродинамическое действие тока КЗ [2, стр. 233]:

Сила взаимодействия между фазами:

$$f = \frac{1,5 \cdot I_{n,0}^{(3)2}}{D} \cdot 10^{-7} = \frac{1,5 \cdot 29658^2}{4} \cdot 10^{-7} = 33,0 \text{ Н/м.}$$

Масса 1 м провода марки АС- 400 / 51 1,49 кг . Тогда сила тяжести 1 м фазы с учетом количества проводников в фазе:

$$g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot n \cdot m = 1,1 \cdot 9,8 \cdot 3 \cdot 1,49 = 48,2 \text{ Н/м.}$$

Принимая время действия релейной защиты 0,1 сек, эквивалентное по импульсу время действия быстродействующей защиты:

$$t_{\text{эк}} = t_3 + 0,05 = 0,1 + 0,1 = 0,15 \text{ сек.}$$

Допустимая стрела провиса проводов по габаритно-монтажным условиям:

$h = 2,5$  м [2, стр. 239], тогда:

$$\frac{\sqrt{h}}{t_{\text{эк}}} = \frac{\sqrt{2,5}}{0,15} = 10,5; \frac{f}{g} = \frac{33,0}{48,2} = 0,68$$

По диаграмме находим :

$$\frac{b}{h} = 0,22, \text{ откуда отклонение провода } b = 0,22 \cdot 2,5 = 0,55 \text{ м.}$$

Наименьшее допустимое расстояние в свету между соседними фазами в момент их наибольшего сближения :

$$a_{\text{доп}} = 0,95 \text{ м.}$$

Диаметр фазы:

$$d = 2 - r_{\text{эк}} = 2 \cdot 10,7 = 21,5 \text{ см.}$$

Допустимое отклонение фазы:

$$b_{\text{доп}} = \frac{D - d - a_{\text{доп}}}{2} = \frac{4 - 0,21 - 0,95}{2} = 1,89 \text{ м} > 0,55 \text{ м.}$$

Таким образом, схлестывание не произойдет. Проверка проходит.- проверка на электродинамическое взаимодействие проводников одной фазы, (т.к.  $I_{n,0}^{(3)} > 20$ кА):

Усилие на каждый провод:

$$f_{\text{ц}} = \frac{n-1}{n^2} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_{n,0}^{(3)2}}{d} = \frac{3-1}{3^2} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{29658^2}{0,21} = 182,1 \text{ Н/м.}$$

Удельная нагрузка на каждый провод от взаимодействия при КЗ:

$$\gamma_k = \frac{f_{II}}{q} = \frac{182,1}{400,00} = 0,455 \text{ МПа/м.}$$

Удельная нагрузка на провод от собственного веса:

$$\gamma_1 = \frac{9,8 \cdot m}{q} = \frac{9,8 \cdot 1,49}{400} = 0,037 \text{ МПа/м.}$$

Принимая максимальное тяжение на фазу в нормальном режиме  $T_{\phi, \max} = 100 \cdot 10^3 \text{ Н}$ , определяем максимальное напряжение в проводе:

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\phi, \max}}{n \cdot q} = \frac{100 \cdot 10^3}{3 \cdot 400} = 83,3 \text{ МПа/м.}$$

Определяем допустимое расстояние между распорками внутри фазы:

$$\begin{aligned} l_p &= k \cdot \sigma_{\max} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{(k-1) \cdot \sigma_{\max} \cdot 24 \cdot \beta}{(\gamma_k + k \cdot \gamma_1) \cdot (\gamma_k - k \cdot \gamma_1)}} = \\ &= 1,8 \cdot 83,3 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 83,3 \cdot 24 \cdot 159 \cdot 10^{-13}}{(0,455 + 1,8 \cdot 0,037) \cdot (0,455 - 1,8 \cdot 0,037)}} = \\ &= 20,7 \text{ м,} \end{aligned}$$

где  $k = 1,8$  — коэффициент допустимого увеличения механического напряжения в проводе при КЗ;

$\beta = 159 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{Н}$  — коэффициент упругого удлинения материала провода (алюминий).

Таким образом, во внутрифазных распорках необходимости нет, если расстояние от трансформатора до сборных шин менее значения  $l_p$ .

### 1.3.3 Выбор проводников от блочного трансформатора Т1 до сборных шин

Токоведущие части от трансформатора Т1 до сборных шин выполняем гибкими стале алюминевыми проводами.

Номинальный ток цепи блочного трансформатора:

$$I_{\text{НОРМ}}^{\text{СН}} = \frac{S_{\text{НОМГ1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{889 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 2333 \text{ А;}$$

Максимальный ток для блочного трансформатора:

$$I_{max} = I_{норм}^{сн} = 2333 \text{ А.}$$

Выбор сечения производим по экономической плотности тока  $j$ :

$$F_{эк} = \frac{I_{норм}}{j} = \frac{2333}{1} = 2333 \text{ мм}^2;$$

Принимаем четыре стале алюминиевых провода АС- 600 / 72 мм<sup>2</sup>с

$$I_{доп} = 3150 \text{ А}$$

- проверка сечения на нагрев:

$$I_{max} = 2333 \text{ А} < I_{доп} = 3150 \text{ А, проверка проходит;}$$

-по условию механической прочности минимально допустимое сечение для стале алюминиевых проводов  $F_{min.доп} = 25 \text{ мм}^2$ , что меньше, чем принятое сечение, поэтому данная проверка проходит;

- проверка по условию коронирования:

Начальная критическая напряженность:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left[ 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right] = 30 \cdot 0,8 \cdot \left[ 1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,66}} \right] = 30,6 \text{ кВ/см,}$$

где  $m = 0,82$  — коэффициент шероховатости многопроволочных проводов ;

$r_0 = 1,66 \text{ см}$ — радиус провода.

Коэффициент, учитывающий число проводов в фазе:

$$k = 1 + 3 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{r_0}{a} = 1 + 3 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1,66}{30} = 1,23 ,$$

где  $a = 30$ — расстояние между проводами в расщепленной фазе в зависимости от напряжения.

Эквивалентный радиус:

$$r_{эк} = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r_0 \cdot a^3} = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot 1,66 \cdot 30^3} = 15,9 \text{ см}$$

Напряженность вокруг провода:

$$E = k \cdot \frac{0,354 \cdot U}{n \cdot r_0 \cdot \lg \frac{1,26 \cdot D}{r_{эк}}} = 1,23 \cdot 10,6 \text{ кВ/см,}$$

где  $D = 4 \text{ м}$ — расстояние между проводниками фаз;

$U = 1,1 \cdot U_{ном} = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ кВ}$  для электростанций.

$n = 4$  шт— количество проводников в фазе.

По условию:  $1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0$ , имеем:

$1,1 \cdot 10,6 = 11,3$  кВ/см  $< 0,9 \cdot 30,6 = 27,6$  кВ/см, проверка проходит;

-проверка на термическое действие тока ВЛЭП не производится ;

так как  $i_{уд} > 50$  кА производим проверку на электродинамическое действие тока КЗ :

Сила взаимодействия между фазами:

$$f = \frac{1,5 \cdot I_{n,0}^{(3)2}}{D} \cdot 10^{-7} = \frac{1,5 \cdot 29658^2}{4} \cdot 10^{-7} = 33,0 \text{ Н/м.}$$

Масса 1 м провода марки АС- 600 / 72 2,17 кг. Тогда сила тяжести  $l$  м фазы с учетом количества проводников в фазе:

$$g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot n \cdot m = 1,1 \cdot 9,8 \cdot 3 \cdot 2,17 = 93,6 \text{ Н/м.}$$

Принимая время действия релейной защиты 0,1 сек, эквивалентное по импульсу время действия быстродействующей защиты:

$$t_{эк} = t_з + 0,05 = 0,1 + 0,1 = 0,15 \text{ сек.}$$

Допустимая стрела провиса проводов по габаритно-монтажным условиям:

$h = 2,5$  м [2, стр. 239], тогда:

$$\frac{\sqrt{h}}{t_{эк}} = \frac{\sqrt{2,5}}{0,15} = 10,5; \frac{f}{g} = \frac{33,0}{93,6} = 0,35$$

По диаграмме находим :

$$\frac{b}{h} = 0,12, \text{ откуда отклонение провода } b = 0,12 \cdot 2,5 = 0,30 \text{ м.}$$

Наименьшее допустимое расстояние в свету между соседними фазами в момент их наибольшего сближения :

$$a_{доп} = 0,95 \text{ м.}$$

Диаметр фазы:

$$d = 2 \cdot r_{эк} = 2 \cdot 15,9 = 31,7 \text{ см.}$$

Допустимое отклонение фазы:

$$b_{доп} = \frac{D - d - a_{доп}}{2} = \frac{4 - 0,32 - 0,95}{2} = 1,84 \text{ м} > 0,30 \text{ м.}$$

Таким образом, схлестывание не произойдет. Проверка проходит.-на электродинамическое взаимодействие проводников одной

фазы, (т.к.  $I_{n,0}^{(3)} > 20\text{кА}$ ):

Усилие на каждый провод:

$$f_{ц} = \frac{n-1}{n^2} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_{n,0}^{(3)2}}{d} = \frac{4-1}{4^2} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{29658^2}{0,32} = 103,9 \text{ Н/м.}$$

Удельная нагрузка на каждый провод от взаимодействия при КЗ:

$$\gamma_k = \frac{f_{ц}}{q} = \frac{103,9}{600,0} = 0,173 \text{ МПа/м.}$$

Удельная нагрузка на провод от собственного веса:

$$\gamma_1 = \frac{9,8 \cdot m}{q} = \frac{9,8 \cdot 2,17}{600} = 0,035 \text{ МПа/м.}$$

Принимая максимальное тяжение на фазу в нормальном режиме  $T_{\phi,max} = 100 \cdot 10^3 \text{ Н}$ , определяем максимальное напряжение в проводе:

$$\sigma_{max} = \frac{T_{\phi,max}}{n \cdot q} = \frac{100 \cdot 10^3}{3 \cdot 600} = 41,7 \text{ МПа/м.}$$

Определяем допустимое расстояние между распорками внутри фазы:

$$\begin{aligned} l_p &= k \cdot \sigma_{max} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{(k-1) \cdot \sigma_{max} \cdot 24 \cdot \beta}{(\gamma_k + k \cdot \gamma_1) \cdot (\gamma_k - k \cdot \gamma_1)}} = \\ &= 1,8 \cdot 41,7 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 41,7 \cdot 24 \cdot 159 \cdot 10^{-13}}{(0,173 + 1,8 \cdot 0,035) \cdot (0,173 - 1,8 \cdot 0,035)}} = \\ &= 20,7 \text{ м,} \end{aligned}$$

где  $k = 1,8$  — коэффициент допустимого увеличения механического напряжения в проводе при КЗ;

$\beta = 159 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{Н}$  — коэффициент упругого удлинения материала провода (алюминий).

Таким образом, во внутрифазных распорках необходимости нет, если расстояние от трансформатора до сборных шин менее значения  $l_p$ .

### 1.3.4. Принципиальная схема управления выключателем и сигнализации

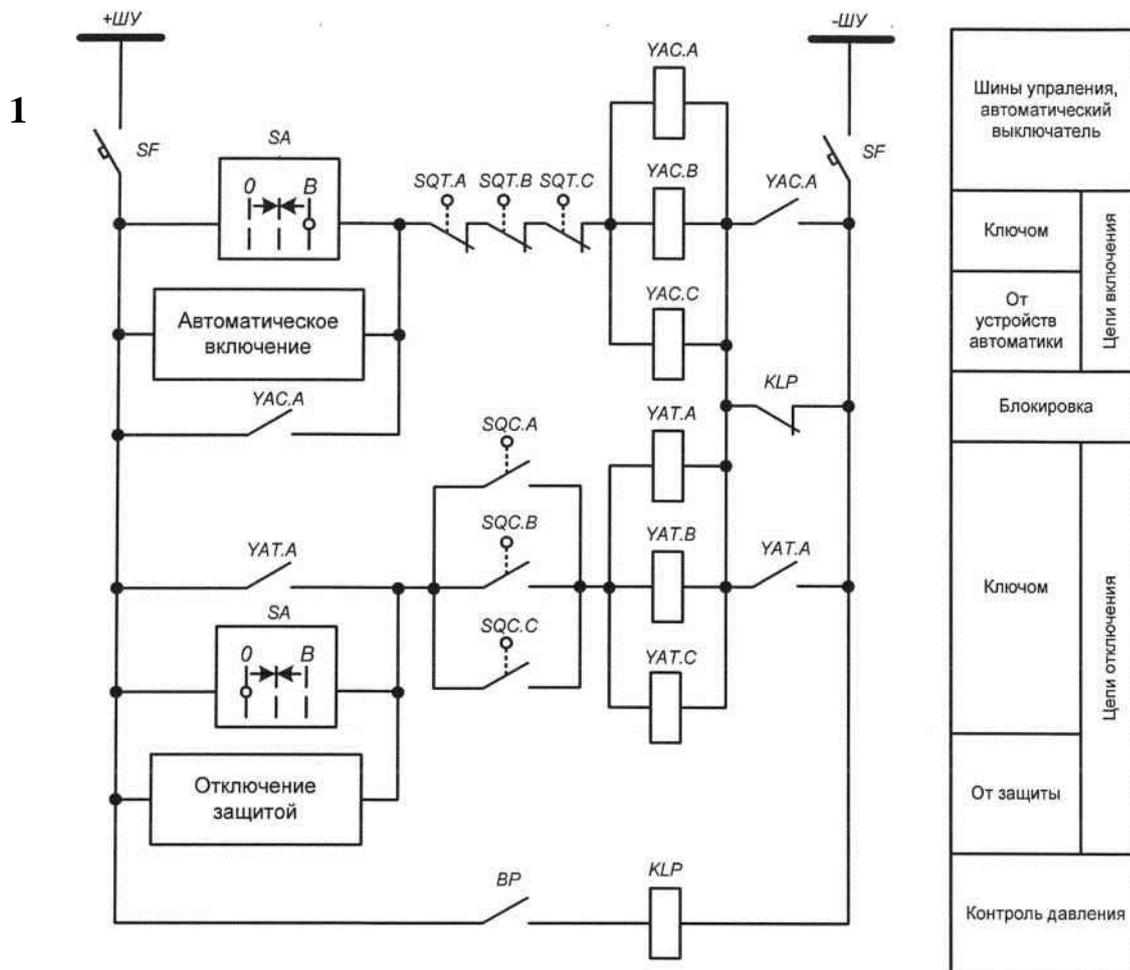


Рисунок 1-4 - Схема дистанционного трехфазного управления воздушным выключателем

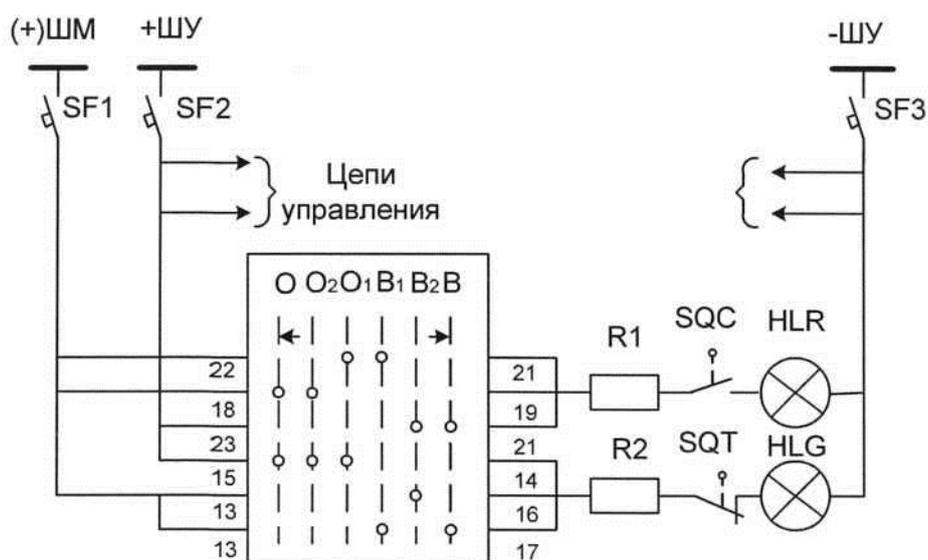


Рисунок1-5- Схема сигнализации положения выключателя

### 1.3.5. Общие сведения

Схемы блочных соединений: применяются на современных мощных электростанциях. В основном соединяются в один блок генератора — повышающий электро трансформатор (или автотрансформатор) и трансформатор собственных нужд . Применяются также блоки генераторов — повышающие трансформаторы (или автотрансформаторы) — линии. Для блоков большой мощности (100, 200, 300, 500, 800 МВт) объединяют в единый агрегат не только электро генераторы и электро трансформаторы, также котел и турбину. Подобные блоки не имеют поперечных связей, позволяющих заменять один элемент блока (например, электро трансформатор или котел) аналогичным элементом другого блока. В результате чего повреждение или нарушение одного элемента блока выводит из работы весь блок.

На электрогенераторах и электро трансформаторах (или автотрансформаторах) и линиях, соединенные в один блок, устанавливают те же защиты, что и в случае их раздельной работы. Объединение в один рабочий агрегат нескольких элементов больших мощностей вызывает некоторые,

отмечанные ниже особенности в требованиях к защитах и в отдельных случаях в исполнении защиты.

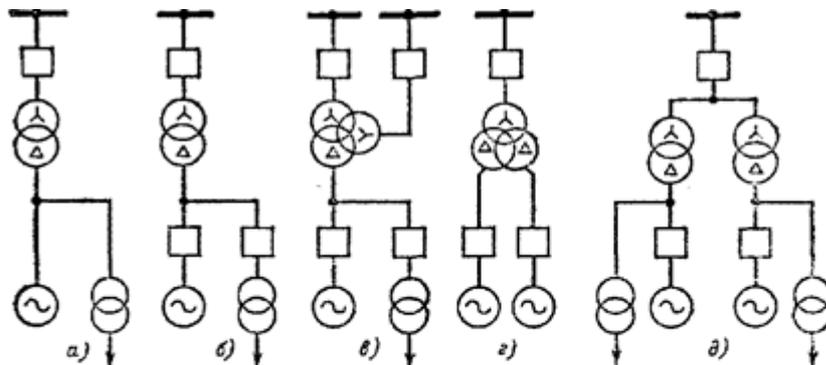


Рис. 1-6 Основные схемы блоков---а, б, в — эл. генератор —эл. трансформатор с ответвлением на с. п.; г — блок с двумя эл. генераторами; д — спаренные блоки.

#### 1.4.Краткая информация о защищаемом объекте

В дипломной работе предстоит задача рассчитать релейную защиту блока генератор-трансформатор, находящийся в КЭС, спроектированной и рассчитанной, «Электрические станции и подстанции». Расчет будет произведен для блока генератор-трансформатор на РУ СН 220 кВ.

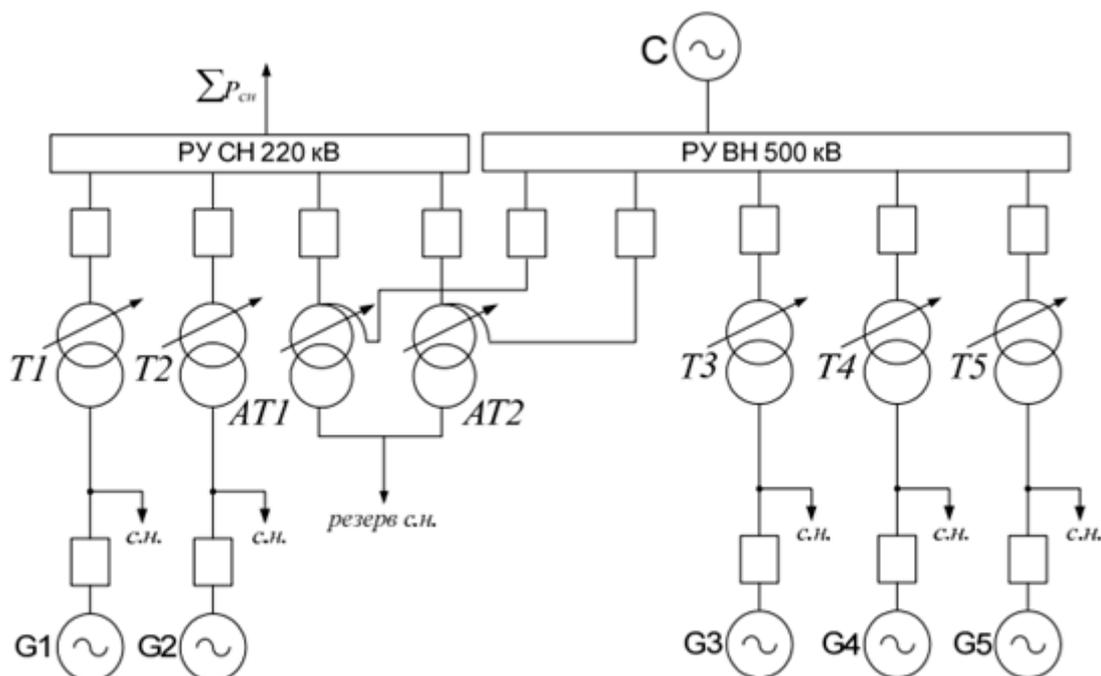


Рисунок 1-7 - Принципиальная схема № 1 КЭС с двумя авто трансформаторными блоками

Таблица 1-10 - Технические характеристики выбранного генератора

Маркировка		Кол-во шт.	$S_{ном}, MVA$	$U_{ном}, кВ$	$C_{osF}$
ТВВ-320-2		6	376	20	0,8
Маркировка	Пояснение буквенной части	Пояснение цифровой части	$S_{ном}$ МВ*А	$P_{ном},$ МВт	$CosF$
ТВВ-320-2	Т- Турбогенератор ВВ- Водородное охлаждение ротора , водяное охлаждение статора	320- номинальная мощность в продолжительном режиме перегрузки МВт  2-число полюсов	376	320	0,85
Маркировка				Система соед.обм.	Вид системы возбуждения

	$I_{\text{ном,кА}}$	$X_d$	$X_d$	$X_d$	$X_2$	$T_a^3, \text{с}$	статора	
ТВВ-320-2	10,2	0,173	0,258	1,698	0,211	0,1-0,5	Y Y	ВЧ,БШ,ТН
Маркировка	Описание системы охлаждения.							
	статора				ротора			
	обмотки		стали		обмотки		бочки	
ТВВ-320-2	Водяное		Водяное		Водород		Водород	

### Выбор блочного двух обмоточного трансформатора:

Выбираем по расчетной мощности двух обмоточные трансформаторы из Т1 типа ТДЦ (ТЦ) - 400000/220

Таблица 1-11 - характеристики выбранного блочного двух обмоточного трансформатора:

Обозначение на схеме	Тип	$S_{\text{ном, МВА}}$	Напряжение обмоток			Потери, кВт	
			$U_{\text{ВН, кВ}}$	$U_{\text{СН, кВ}}$	$U_{\text{НН, кВ}}$	$P_{\text{хх}}$	$P_{\text{к}}$
Т1	ТДЦ-400000/220	400	242	-	20	330	880

### **1.4.1.Выбор и обоснование устанавливаемых защит**

Синхронные генераторы относятся к ответственному оборудованию, работающие в режиме интенсивного электрического и механического перегруза. Их поломка может привести к возникновению аварии, поэтому устройства релейной защиты должны обеспечивать требования быстродействия, селективности, чувствительности и надежности.

### **1.4.2.Повреждение эл.генераторов**

**Витковые замыкания** являются наиболее вероятным и опасным видом повреждения и характеризуются протеканием больших токов в замкнувшихся витках при незначительном изменении тока в неповрежденной области обмотки. Замыкания между витками обычно сопровождаются замыканием на землю и в большинстве случаев возникают в результате развития повреждения, вызванного однофазным замыканием на землю.

**Замыкания на землю** наиболее часто возникающий режим повреждения. В месте замыкания на землю обычно возникает дуга, которая может привести к значительным разрушениям стали статора при большом токе повреждения.

Замыкания на землю наиболее вероятны на участках обмотки статора вблизи линейных выводов. Однако, как показал опыт эксплуатации, возможны замыкания на землю, и вблизи нейтрали (в частности при снижении уровня изоляции под воздействием охлаждающей воды). Генераторы большой мощности при замыкании на землю обмотки статора должны отключаться.

**Многофазные к.з.** Многофазные к.з. в обмотке статора вероятны при развитии повреждения, вызванного однофазным замыканием на землю. Однако возможны и междуфазные к.з. без земли, возникающие в лобовых частях обмотки. Повреждения при больших токах вызывают значительные разрушения генератора, эти к.з. должны немедленно срабатывать быстродействующей защитой.

**Повреждения обмотки ротора.** Обмотки ротора генератора находятся под невысоким напряжением изоляция обладает значительным запасом прочности. Для тяжелых механических условий работы распространенными видами повреждений обмотки ротора и цепи возбуждения являются замыкания на землю в одной и в двух точках. Замыкание на землю в одной точке не сопровождается большими токами и не влияет на работу генератора. Однако возникает опасность повреждения изоляции цепи возбуждения во второй точке. При появлении часть обмотки ротора шунтируется, после чего искажается магнитное поле машины. После чего возникает значительная вибрация и приводит к разрушению подшипников и уплотнений вала генератора. Возникновение дуги при замыкании на землю во второй точке может вызывать местные обгорания изоляции и оплавления меди обмотки.

### **1.4.3. Ненормальные режимы работы генераторов**

**Внешние короткие замыкания** должны ликвидироваться защитами смежных присоединений. Однако при отказе защиты или выключателя этого элемента ток короткого замыкания должен быть отключен защитой электрогенератора.

**Перегрузки эл. генератора** возникают при отключении или отделении части параллельно работающих электрогенераторов, при работе форсировки возбуждения, самозапуске электрических двигателей, потере возбуждения и т.д. Симметричные перегрузки возможны при обусловленных недостатком реактивной мощности на данном участке энергосистемы понижениях напряжения в сети, на которую работают энергоблоки.

Перегрузка генератора по току статора всегда сопровождается перегрузкой по току ротора и вызывает перегрев обмоток, старение изоляции и, как следствие, ее повреждение. Для ликвидации перегрузки производится автоматическое снижение тока возбуждения с помощью блока разгрузки в автоматическом регуляторе возбуждения (АРВ) и защиты ротора от перегрузки.

Последняя кроме действия на разгрузку, в случае если при этом перегрузка не устраняется, отключает генератор.

**Несимметрия фазных токов** возникает при внешних однофазных и двухфазных замыканиях, при большой несимметричной нагрузке ближних потребителей, или неполнофазных режимах работы энергосистемы. Несимметрия сопровождается появлением в обмотке статора токов обратной последовательности. При этом в роторе возникают токи двойной частоты, вызывающие его повышенный нагрев и вибрацию вращающихся частей машины.

**Повышение напряжения** обмотки статора, возможное в условиях холостого хода генератора при неисправностях в системе возбуждения или при обрыве цепей напряжения АРВ. Для предотвращения таких повышений напряжения на турбогенераторах мощностью 160 МВт и выше должно производиться гашение поля с помощью специальной защиты.

**Асинхронный режим** возникает при потере возбуждения и в результате нарушения устойчивости. Продолжая выдавать активную мощность, получает возбуждение от сети. При этом снижается до нуля тормозной синхронный момент, частота вращения генератора увеличивается и возникает скольжение 0,3—0,7%.

В условиях асинхронного режима вследствие потребления из сети большой реактивной мощности значительно увеличивается ток статора и понижается напряжение на выводах генератора. Поэтому активная мощность, выдаваемая генератором в асинхронном режиме, должна ограничиваться.

## **2.Выбор защит**

Для защиты блока генератор-трансформатор воспользуемся серийным выпуском шкафов комплекса защит типов ШЭ1110, ШЭ111 ОМ, ШЭ1111, ШЭ1112 и ШЭ1113 предприятия «ЭКРА». Шкафы, предназначенные для защиты генераторов, в том числе и работающих на сборные шины,

трансформаторов и блоков генератор-трансформатор малой, средней и большой мощности.

Шкафы типов ШЭ1111 и ШЭ1112 образуют комплекс защит мощных блоков генератор-трансформатор с двумя взаимно резервируемыми автономными комплектами защит. Каждый комплект располагается в отдельном шкафу и выполнен в виде трех кассетного (четырёх кассетного) терминала. Для каждой систем защит (каждого терминала) предусматриваются индивидуальные измерительные трансформаторы, отдельные цепи оперативного тока, отдельные входные и выходные цепи, а также цепи сигнализации.

Для генератора принимаем следующие типы защит:

- Дифференциальная защита.
- Защита от замыканий на землю обмотки статора.
- Защита от внешних симметричных КЗ- дистанционная защита,
- Защита от повышения напряжения
- Защита от симметричных перегрузок обмотки статора
- Защита ротора от замыкания на землю
- Защита от потери возбуждения
- Защита от несимметричных перегрузок и внешних несимметричных замыканий
- Защита ротора от перегрузок.

Проектирование защиты трансформатора должно учитывать следующие режимы:

- многофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- однофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- витковые замыкания в обмотках;
- внешние короткие замыкания;
- перегрузка трансформатора;
- "пожар" стали магнито провода.

Для защиты трансформатора от повреждений и ненормальных режимов, в соответствии с ПУЭ, должны быть предусмотрены следующие типы релейной защиты:

1. От повреждений внутри кожуха, сопровождающемся выделением газа и (или) понижением уровня масла - газовая защита с действием на сигнал может не сработать.

2. От повреждений на выводах и внутренних повреждениях - продольная дифференциальная защита.

3. Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий.

## **2.1. Защита генератора**

### **2.1. Дифференциальная защита**

Назначение: защита от между фазных КЗ в обмотке статора. Обмотки статоров генераторов разной мощности и исполнения выполняются по двум принципиально различным схемам. Трансформаторы тока ТА1 и ТА2 в этом случае имеют одинаковые коэффициенты трансформации, и их вторичные токи в нормальном режиме работы одинаковы по величине и противоположны по направлению.

### **Выбор уставок защиты**

Номинальный ток генератора:

$$I_{ном} = \frac{P_{г}}{\sqrt{3} \times U_{ном} \times \cos \varphi} = \frac{320}{\sqrt{3} \times 20 \times 0.85} = 10868 \text{ А}$$

1. Минимальный ток срабатывания защиты ИС.З.МИН выбирается по условию отстройки защиты от тока небаланса, возникающего в номинальном режиме работы защищаемого генератора:

$$I_{ср.О} \geq k_{н} I_{нб.ном}$$

где  $k_{н} = 2,0$  - коэффициент надежности;

$I_{нб.НОМ} = f_i k_{одн} I_{НОМ}$  – ток небаланса;

$f_i = 0,1$  – допустимая относительная погрешность трансформаторов тока; ;

$k_{одн}$  = коэффициент однотипности:

*I<sub>ном</sub>* – номинальный ток генератора.

Регулируемый диапазон уставок  $I_{ср.0}$  от  $0,1 I_{ном}$  до  $0,8 I_{ном}$

Ток небаланса:

$$I_{нб.ном} = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 10868 = 543,4 \text{ А}$$

Минимальный ток срабатывания защиты:

$$I_{ср. 0} = k_n \cdot I_{нб. ном} = 2 \cdot 543,4 = 1086,8 \text{ А}$$

2. Определяем точку излома В характеристики срабатывания исходя из обеспечения требований чувствительности к токам короткого замыкания в рабочей зоне. Типичное значение уставки  $V = 1,5$ .

3. Величина коэффициента торможения **К<sub>т</sub>** определяется с учетом отстройки защиты от токов небаланса, вызванных внешними К.З. или асинхронным ходом. Диапазон уставок **К<sub>т</sub>** можно установить от 0,3 до 0,7. Типичное значение **К<sub>т</sub> = 0,5**.

4. Ток срабатывания дифференциальной отсечки

Дифференциальная токовая отсечка обеспечивает быстрое и надежное срабатывание защиты при внутренних к.з., когда возможность насыщения трансформаторов тока с увеличением полной погрешности до 50%. Отсечка может быть установлена в пределах от  $6I_{ном}$  до  $12I_{ном}$ , мы берем среднее значение;

$$I_{ср. отс.} = 9 \cdot 10868 = 97812 \text{ А}$$

### **2.2.3. Защита от потери возбуждения**

Назначение: защита от потери возбуждения предназначена для определения снижения возбуждения генератора, приводящего к перегреву торцевых пакетов стали статора и к переходу в асинхронный режим работы.

**Выбор уставок:**

$$z_{уст} = 1,1 X'd = 1,1 \cdot 1,698 = 1,8678 \text{ Ом}$$

Смещение характеристики срабатывания вдоль мнимой оси в направлении угла максимальной чувствительности

$$z_{см} = 0,4 X'd = 0,4 \cdot 0,258 = 0,1032 \text{ Ом}$$

Выдержка времени берется равной (1-2) сек.

### 2.3 Дистанционная защита эл. генератора от межфазных КЗ

Назначение: защита от внешних симметричных коротких замыканий. Защита строится на основе дистанционных органов и подключается к измерительным электро трансформаторам на линейные напряжения и разности фазных токов. Данные срабатывания защиты задается в форме круга, расположенного в 1 и 2 квадрантах со смещением в 3 и 4 квадранты комплексной плоскости сопротивлений. Характеристика срабатывания приведена на рис. 3. Уставка по сопротивлению срабатывания  $Z_{уст}$  регулируется в пределах от 1,0 до 80 Ом с шагом 0,1 Ом. Уставка по сопротивлению смещения  $Z_{см}$  регулируется в пределах от 0 до  $Z_{уст}$ . Угол чувствительности регулируется в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  с шагом  $1^\circ$

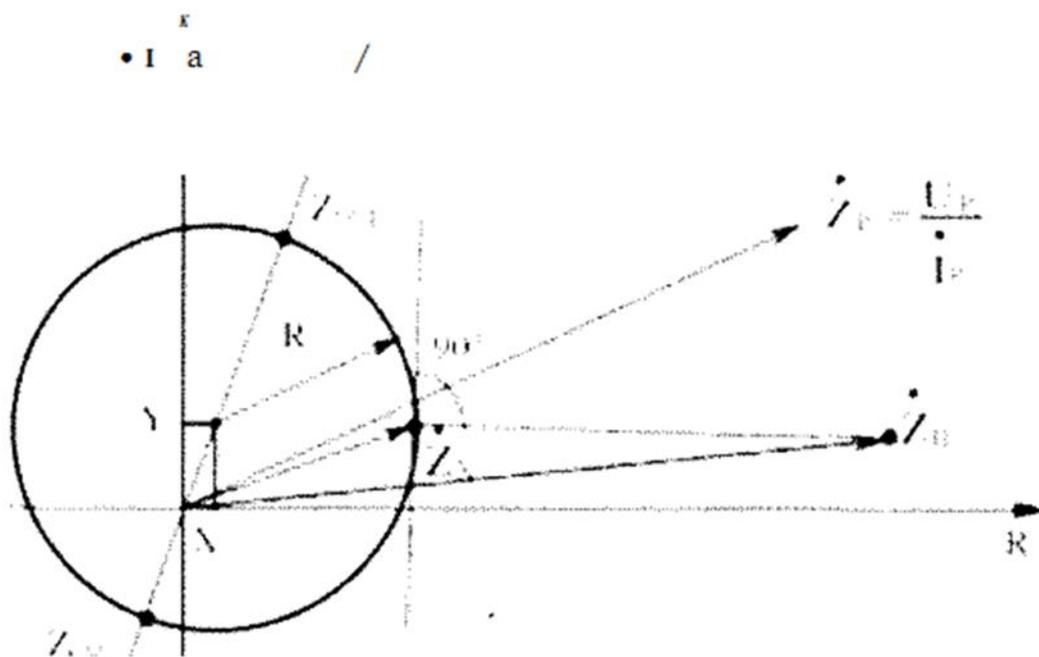


Рисунок 1-8 - Характеристика дистанционного органа защиты генератора от внешних между фазных коротких замыканий.

В защите предусмотрена блокировка от качания, которая определяет повреждение от качания в системе по скорости относительного изменения сопротивления замера и используется для блокировок защиты при малом времени ее действия. Поскольку время действия защиты генератора от внешних междуфазных К.З. согласуется с резервными защитами линий, отходящих от шин высшего напряжения, блокировка от качаний, реализованная в дистанционной защите минимального сопротивления, не используется.

### Выбор уставок

1. Сопротивление срабатывания защиты выбирается по сопротивлению нагрузки.

$$Z_{\text{нагр}} = \frac{U_{\text{мин}}}{\sqrt{3} \times I_{\text{нагр}}}$$

где  $U_{\text{мин}}$  - минимальное напряжение на выводах генератора, принимаемое ном  $0,95I_{\text{ном}}$ ;  $I_{\text{нагр}}$  - максимальное значение рабочего тока генератора в условиях перегрузки, принимаемое  $1,5 \cdot I_{\text{ном}}$ . Значение  $I_{\text{нагр}} = 1,5 \cdot I_{\text{ном}}$  соответствует кратковременно допустимой перегрузке генератора по току статора.

$$U_{\text{мин}} = 0,95 \times 20 = 19 \text{ кВ}$$

$$I_{\text{нагр}} = 1,5 \times 10868 = 16302 \text{ А} = 16,302 \text{ кА}$$

$$Z_{\text{нагр}} = \frac{U_{\text{мин}}}{\sqrt{3} \times I_{\text{нагр}}} = \frac{19}{\sqrt{3} \times 16,302} = 0,672 \text{ Ом}$$

Сопротивление срабатывания защиты определяем:

$$Z_{\text{сз}} = \frac{Z_{\text{нагр}}}{k_{\text{н}} \times k_{\text{в}} \times \cos(\varphi_{\text{макс. чув.}} - \varphi_{\text{нагр}})} = \frac{0,672}{1,2 \times 1,05 \times \cos(90 - 59,6)} = 0,618 \text{ Ом}$$

где  $\varphi_{\text{нагр}}$  - угол нагрузки определяется из выражения

$$\cos\varphi_{\text{нагр}} = \frac{I_{* \text{ акт}}}{I_{* \text{ раб. max}}} \cdot I_{* \text{ раб. max}} = \frac{I_{* \text{ раб. max}}}{I_{\text{ ном}}} = 1,5$$

$$I_{* \text{ акт}} = \frac{\cos\varphi_G}{U_{x. \text{ min}}} = \frac{0,85}{0,95} = 0,894$$

$$\cos\varphi_{\text{нагр}} = \frac{0,894}{1,5} = 0,596$$

$$\varphi_{\text{нагр}} = 59,6^\circ;$$

где  $K_n$  - коэффициент надежности, равный 1,2;  $K_v$  - коэффициент возврата дистанционного органа, который для рассматриваемого исполнения равен 1,05;  $\varphi_{\text{макс. чув.}}$  - угол чувствительности, который для электро генератора, работающего в блоке с электро трансформатором, принимаем равным  $90^\circ$ ; угол нагрузки, принимаемый равным номинальному углу нагрузки электрогенератора.

Сопротивление срабатывания, приведенное к вторичным цепям:

$$Z_{\text{сз. вт}} = Z_{\text{сз}} \frac{k_{\text{тт}}}{k_{\text{тн}}} = \frac{24000/5}{20/100} = 14,832 \text{ Ом}$$

Принимаем к установке сопротивление уставки 14,5 Ом.

2. Сопротивление смещения характеристики срабатывания в третий и четвертый квадранты выбирается таким, чтобы избежать срабатывания защиты при потере возбуждения.

Из этого условия

$$Z_{\text{см}} \leq 0,5 \times X' d$$

Сопротивление смещения характеристики срабатывания. Максимальное сопротивление смещения характеристики срабатывания

$$Z_{\text{см. макс}} = 0,5 \times X' d = 0,5 \times 0,258 = 0,129 \text{ Ом}$$

3. Время срабатывания защиты выбирается из условия согласования с резервными защитами линий, отходящих от распределительного устройства высшего напряжения.

#### 2.4. Защита от замыканий на землю в обмотке статора

Выбираем типы защиты генератора от замыканий на землю от режима его работы. Так как данный генератор работает в режиме блока, то защиты выполним с использованием наложения на цепь статора постоянного тока. Упрощенная схема защиты и ее включение показано на рисунке:

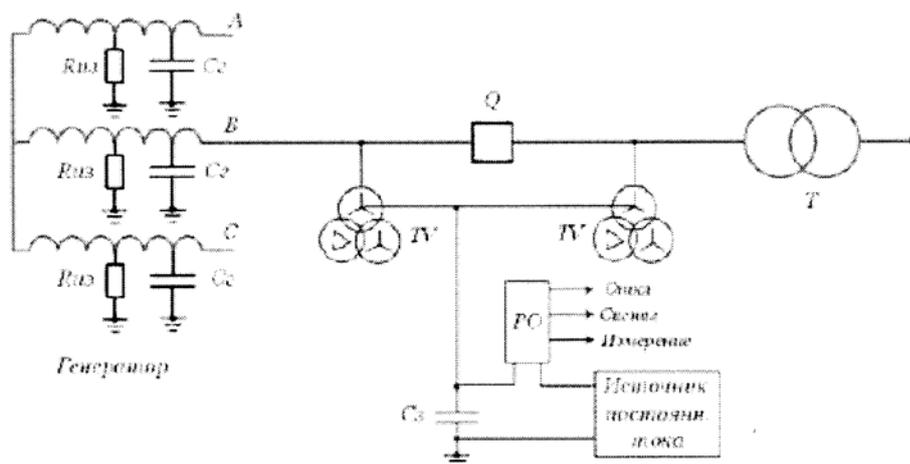


Рис. 1-9 - Схема защиты на наложенном постоянном токе

Постоянный ток от источника подключаем через объединенные нейтралы обмоток высшего напряжения после этого через обмотки трансформаторов напряжения и подаём на обмотки статора. После чего величину тока в реагирующем органе **РО** определяем сопротивлением изоляции на обмотки статора. В хорошем режиме работы установленный ток незначителен, и защита не срабатывает. Когда происходит замыкание на землю или снижается уровень изоляции наложенный ток увеличивается, после чего приводит к срабатыванию сигнального оборудования или отключающего элемента в свое время одинаково.

Сигнальный элемент реагирует на сопротивление:

$R = (100 - 200) \text{ кОм}$ .

Отключающий элемент срабатывает при:

$R < 10 \text{ кОм}$ .

В защите предусматриваем цепь подключения измерительных приборов для постоянного наблюдения изоляции обмотки статора в процессе работы.

## **2.5. Защита от замыканий на землю обмотки ротора**

Предусматриваем защиту для нахождения замыкания на землю в одном участке цепи возбуждения электро генератора путем измерения сопротивления изоляции обмоток ротора относительно земли. Вся защиту выполняем с установлением на цепь возбуждения переменного тока с частотой 17,5 Гц, которую подводим от иного источника.

Защиты от короткого замыкания на землю в одном участке цепи возбуждения категорично должны устанавливаются две уставки:

-при понижении сопротивления в участке цепи возбуждения до 10 кОм с срабатыванием на сигнал;

-при понижении сопротивления в участке цепи возбуждения до 4 кОм с срабатыванием на отключение.

Выполняем установку защиты с помощью установок двух блоков( терминалов):для контроля измерения сопротивления изоляции типа БЭ 1104Б.04 и частотного фильтра типа БЭ 1105Б.04, подключаемых к участкам цепи возбуждения электро генератора.

## **2.6. Защита от повышения напряжения генератора и трансформатора блока при его работе на холостом ходу**

Такое может возникнуть при сбросе нагрузки и отключении выключателя блока. На защите нет выдержки времени и при этом срабатывают только на холостом ходу электро генератора на гашение поля. Работе блока на нагрузку она может автоматически выйти из действия с

помощью органа контроля тока. Когда блок генератора переходит в режим холостого хода, защита автоматически приводит в действие с выдержкой времени около 3 с, который помогает перекрыть длительность кратковременного повышения напряжения на электрогенераторе при его отключении от сети.

Защита содержит следующие органы:

- орган максимального напряжения;
- органы контроля отсутствия тока в одной или в двух цепях первичной схемы (в цепи генератора или в цепи генератора и в цепи обмотки высшего напряжения трансформатора блока). Защита подключается к электро трансформаторам напряжения, установленных на линии выводах генератора.

Напряжение срабатывания. Первичное напряжение срабатывания защиты:

$$U_{сз} = 1,2 \cdot U_{ном.г.} = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ кВ}$$

Напряжение срабатывания, приведенное к вторичным цепям:

$$U_{сз.вт} = \frac{U_{сз}}{k_{тн}} = \frac{24000}{20000/100} = 120 \text{ В}$$

Ток срабатывания блокирующих реле. Блокирование защиты производится при протекании по генератору тока нагрузки. Для этого первичный ток срабатывания:

$$I_{блок.} = 0,1 \times I_{ном.г.} = 0,1 \times 10,868 = 1,0868 \text{ кА}$$

Ток блокирования, приведенный к вторичным цепям:

$$I_{блок.вт.} = \frac{I_{блок.}}{k_{тт}} = \frac{1086,8}{24000/5} = 0,226 \text{ А}$$

## 2.7. Защита от симметричных перегрузок обмотки статора

Защиту подбираем из блок-реле типа *БЭ 1103* и подключается на ток одной фазы статора. Блок защиты включает следующие органы:

- подбираем сигнальный орган с током срабатывания и независимой выдержкой времени;

- подбираем пусковой орган с током срабатывания. Предназначение для пуска интегрального органа; интегральные органы, реализующие нагрузочную характеристику электрогенератора. Он может работать с тремя выдержками времени по аналогии с остальными резервными защитами блочного электрогенератора.

Составленные защиты, выполненные на микропроцессорной основе также входящей в состав шкафа типа *ШЭ 1111*, и это всё дополним органом токовой отсечки. Для всех выше перечисленных у ставок регулируемый диапазон (1,0 - 2,0) I ном с шагом 0,01 I ном, а коэффициент возврата устанавливаем не ниже 0,98.

$$I_{с.з.} = \frac{k_n}{k_v} I_{ном.г.} = \frac{1,05}{0,99} \times 10868 = 11526 \text{ А}$$

Где  $k_n=1,05$  коэффициент надежности, обеспечивает отстройку от длительных допустимых перегрузок электрогенератора,  $k_v$ - коэффициент возврата.

Вторичный ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.вт.} = \frac{I_{с.з.}}{k_{тт}} = \frac{11526}{24000/5} = 2,401 \text{ А}$$

## 2.8. Защита обмотки ротора

Назначение: защита обмотки ротора генератора от перегрузок током возбуждения предназначена для предотвращения повреждения генератора при длительных форсировках возбуждения в случаях аварийного снижения напряжения в энергосистеме или при неисправностях в системе возбуждения.

Защита ротора от перегрузки током возбуждения выполняется с помощью микропроцессорного блока ШЭ1111.

Защита состоит из следующих органов:

- сигнального, с током срабатывания  $I_{ср со} = 1,071 \text{ ном}$  и независимой выдержкой времени;

$$I_{ср со} = 1,07 \cdot 10868 = 11628 \text{ А}$$

- пускового, с током срабатывания  $I_{срсо} = (1,05 - 1,2)I_{ном}$ .

$$I_{срсо} = 1,1 \cdot 10868 = 11954 \text{ А}$$

- интегрального, реализующего нагрузочную характеристику генератора и имеющего двухступенчатый выход. Первая ступень действует на разгрузку, вторая - на останов блока.

## **2.9. Защита от несимметричных перегрузок и внешних несимметричных замыканий**

Назначение: Так как все защиты обратных последовательностей от несимметричных перегрузок предназначены для предотвращения повреждения генераторов при перенагрузках токами обратной поочередности, вызывающей несимметричные нагрузки в рабочих режимах или ненормальным режимам сети (обрыв фазы, неполно фазное отключение выключателя, несимметричные короткие замыкания). Все функции защит предназначены в основном – для защит генератора от термических действий токов двойной частоты в демпферных контурах ротора, в последствии вызывающие местные нагревы в зубцах, металлических клиньях, бандажных кольцах при не симметрии токов обмотки статора. Эта защита содержит последовательные функциональные органы, реализованные программно:

### **Выбор уставок**

- Сигнальный орган: Мы ставим сигнальный орган устанавливая в диапазоне от 0,05 до 0,15 номинального тока генератора. Для турбогенераторов, как правило, принимаем равным 0,05 /ном. Выдержка времени отстраивается от выдержек времени резервных защит блока.

- Пусковой орган: Ток срабатывания пускового органа принимается равным 0,06 /ном = 652,08 А.

Интегральный орган: Основной уставкой интегрального органа является допустимое время протекания тока обратной последовательности, равного номинальному (параметр А). Для установленного на рассматриваемой станции генератора  $A = 8$ .

Принимаем рекомендации завода-изготовителя основные параметры для используемого микропроцессорного шкафа релейной защиты:

- Максимальное время срабатывания- 800 с
- Минимальное время срабатывания- 1 с
- Время охлаждения-100с

Принятые времена могут уточняться при наладке защиты.

**Токовая отсечка.** Определяем величину тока обратной последовательности, протекающего через электро генератор при двухфазном коротком замыкании на выводах в относительных номинальных единицах:

$$I_{2Г*}^{(2)} = \frac{1}{X_*'' + X2_*} = \frac{1}{0,173 + 0,211} = 2,6$$

Отсюда допустимое время срабатывания отсечки:

$$t_{cp} \leq \frac{A}{I_{2Г*}^{(2)} \times I_{2Г*}^{(2)}} = \frac{8}{2,6 \times 2,6} = 1,183 \text{ с}$$

Ток срабатывания отсечки для обеспечения чувствительности к двухфазным коротким замыканиям на выводах генератора

$$I_{cp*} = \frac{I_{2Г*}^{(2)}}{kч} = \frac{2,6}{1,5} = 1,73 \text{ о. е}$$

## 2.10. Расчет токов КЗ для определения параметров защиты

Для расчетов токов короткого замыкания воспользуемся программой PowerFactory. Рассчитаем трехфазные токи коротких замыканий на шинах СН и выводах генератора.

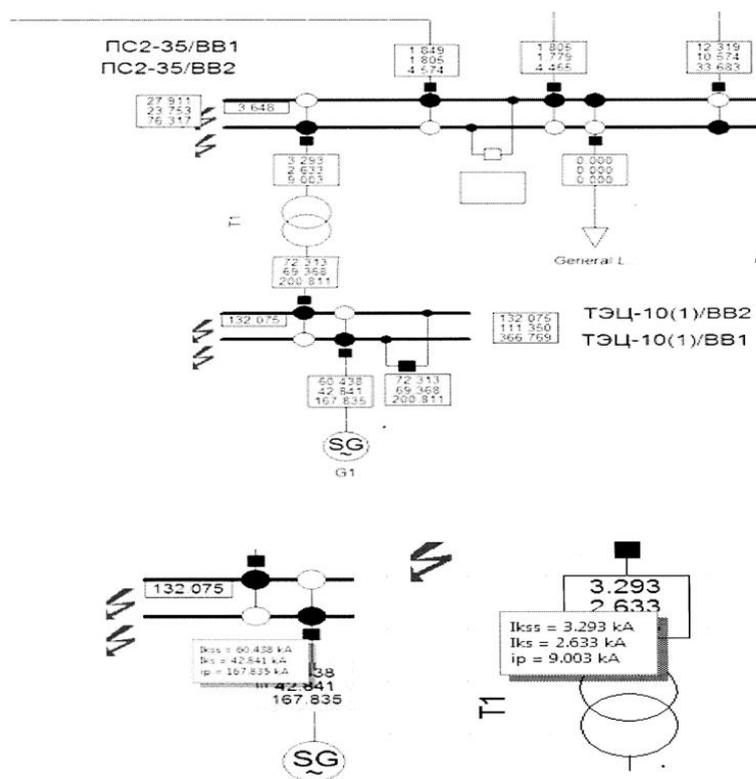


Рисунок 2-10 Расчет трехфазных токов коротких замыканий

Расчет:

За значение тока кз принимаем  $I_p$ , как значение ударного тока от которого будем отстраиваться.

Таблица 2-1 Результаты расчёта режима трёхфазного К.З.

Обозначение точки К.З, описание места повреждения	Трёхфазный ток короткого замыкания ,кА
K1-Шины РУ СН -110 кВ	9,003
K2-Выводы генератора 03	167,835

### 3.3. Защита трансформатора

#### 3.1. Дифференциальная защита трансформатора блока

Назначение: Основные характеристики дифференциальной защиты трансформаторов являются быстродействующей защитой от всех видов КЗ в обмотках трансформатора блока и на его выводах.

Защита блочного электро трансформатора, входящая в комплекс ШЭ 1111, выполняется трех релейной и включается на токи трех фаз. Эту защиту подключаем к трансформаторам тока, встроенных во вводы обмотки высшего напряжения блочного электро трансформатора и трансформатора собственных нужд и к электро трансформаторам тока в цепи генератора.

#### Определение токов плеч.

Схема соединения трансформатора ВН/НН - Y /Δ.

Вторичные обмотки главных трансформаторов тока на всех сторонах соединены по схеме «звезда».

**Первичные токи на сторонах трансформатора блока, соответствующие его номинальной мощности**

$$I_{\text{ном. вн.}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{вн}}} = \frac{400000}{\sqrt{3} \times 220} = 1050 \text{ А}$$

Первичный ток обмотки НН исходя из номинальной мощности обмотки НН, соединения выводов трансформаторов стороны НН вΔ:

$$I_{\text{ном. нн.}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{нн}}} = \frac{400000}{\sqrt{3} \times 20} = 11532 \text{ А}$$

для стороны 220/ А

для стороны 20/ У

#### Коэффициент трансформации трансформаторов тока

$$K_I = \frac{I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{сх}}}{I_{\text{в}}}$$

для стороны ВН:  $K_{\text{твн}} = (1050 \cdot \sqrt{3}) / 5 = 1819 / 5$ ; принимаем 2000/5

для стороны НН:  $K_{\text{тнн}} = (11532 \cdot 1) / 5 = 11532 / 5$ ; принимаем 12000/5

## Вторичные токи в плечах защиты

$$I_B = \frac{I_{\text{НОМ}} \times k_{\text{СХ}}}{kI}$$

для стороны ВН:  $K1 = (1050 \cdot \sqrt{3}) / (2000/5) = 4,548$  А.

для стороны НН:  $K1 = (11532 \cdot 1) / (12000/5) = 4,805$  А.

Возможная неодинаковость модулей и фаз токов в плечах защиты из-за разной группы соединения обмоток защищаемого трансформатора устраняется в самом реле.

Начальный ток срабатывания реле  $I_{\text{СП}}, P0 = 0,3$

Точка излома характеристики срабатывания:

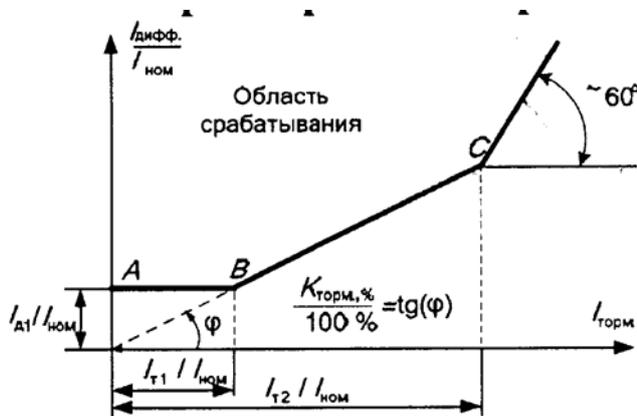


Рисунок-2-11 Ток начального срабатывания реле

Типичное значение уставки  $B = 1,5$ . При таком значении обеспечивается достаточная чувствительность к токам короткого замыкания в зоне рабочих токов.

Значение коэффициента торможения  $K_t$  принимается типичному значению уставки, равной 0,5. Более высокие значения  $K_t$  принимаются в случае резко различных условий работы трансформаторов тока при внешних коротких замыканиях.

### 3.2 Дифференциальная токовая отсечка

Диапазон уставок отсечки от (6-12)х  $I_{ном}$

$$I_{отс.} = (6 - 12) \cdot 1050 = 6300 - 12600 \text{ А}$$

При обнаружении броска тока намагничивания начальный ток срабатывания принимает значение  $I_{срвкл}$

Рекомендуемая уставка  $I_{срвкл} = 0,81 \text{ ном.}$

$$I_{ср. \text{ вкл.}} = 0,8 \cdot 1050 = 840 \text{ А}$$

Чувствительность защиты можно не проверять.

### 3.3. Токовая отсечка от межфазных коротких замыканий

Первичный ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока короткого замыкания на стороне низшего напряжения трансформатора:

$I_{сз} \geq I_{кз} \cdot K_{отс}$  макс.

$$I_{сз} \geq 1,4 \cdot 167,8 = 234,92 \text{ кА}$$

$K_{отс} = 1,4$  - коэффициент отстройки:  $I_{кз}$  макс - ток трехфазного короткого замыкания в месте установки защиты при кз, на шинах низшего напряжения трансформатора.

Чувствительность всей защиты определяется при металлическом двухфазном коротком замыкании на стороне установки защиты в минимальном режиме работы системы. Минимальное значение коэффициента чувствительности допускается в пределах **2**.

### 3.4. Защита от перегрузки

Подключением на фазный ток мы обеспечиваем защиту от перегрузок выполняем это с помощью максимальной токовой защиты на фазный ток. Подключенная защита с установленной выдержки времени действует на сигнал, а на необслуживаемых подстанциях - на разгрузку и отключение. На двух обмоточных электро трансформаторах защита устанавливается со стороны основного питания.

Ток срабатывания защиты отстраивается от номинального тока

трансформатора низшей сторон.

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном.ни.}} = \frac{1,05}{0,98} \cdot 11532 = 12355 \text{ А}$$

где  $k_{\text{отс}}$  - коэффициент отстройки, принимается равным 1,05;

$k_{\text{в}}$  - коэффициент возврата 0,98.

### **3.5.Защита от внешних коротких замыканий на землю**

В микропроцессорных шкафах защиты блока генератор-трансформатор предусмотрены разные диапазонами уставок:

- для органа первой ступени диапазон уставок составляет от 0,15 до 6,0 номинального тока трансформатора (с шагом 0,01);

- для органа второй ступени диапазон уставок составляет от 0,1 до 4,0 номинального тока трансформатора (с шагом 0,01).

Для измерительного органа напряжений нулевой последовательности диапазон уставок от 1,0 до 15,0 В с шагом 0,1 В. Для отстройки от сигналов на частоте третьей гармоники, являющихся основной помехой в цепях защит нулевой последовательности, все измерительные органы используют на своих входах фильтры низших частот, обеспечивающие заглубление органов на третьей гармонике не менее чем в 8 раз.

Ставим на всех повышающих трансформаторах блоков защиты со стороны высшего напряжения, если обмотка соединена по схеме «звезда» и работает с глухо заземлённой нулевой точкой.

#### **Расчет уставок:**

1ступень: 157,5-6300А.

2ступень: 105-4200А.

Для органа напряжения: 1-15 В.

### 3.6. Газовая защита трансформатора

По характеристикам газовая защита получила широкое распространение установок в трансформатор по чувствительности и от защиты внутренних повреждений. Внутренние повреждения электро трансформатора, в бак котором заполнено масло играет роль как охлаждения, изоляцию и все это сопровождается электрической дугой или нагревом конструкции, что приводит к разложению масла и изоляционных материалов и образованию летучести газов. Выделяющиеся газы поднимаются в расширитель где обмениваются с атмосферой, газовое реле вставляются в расширительную трубу, они взаимосвязаны с баком трансформатора и расширителем. Кожух реле устанавливается ниже уровня масла в расширителе для того чтоб он был постоянно в масле. Движущиеся элементы газового реле устанавливаются чтоб при полном масле в кожухе реле и отсутствии движения масла в расширителе чтоб они находились в верхнем положении. Реле реагирует на появление газа и действует на сигнал. Более грубый орган создаёт поток сильного давления масла из бака в расширитель (и/или) на понижение уровня масла. Газовые реле трансформатора выбираются при его конструктивных характеристиках. Для проектирования микропроцессорной системы защиты проектировщику требуется предусматривать следующие дискретные входы для приема сигналов о срабатывании газового реле, их обработку и формирование выходных сигналов шкафа микропроцессорной релейной защиты.

## 4. Схема защит генераторов

### СИСТЕМА А

#### ШЭ1111

##### ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРА:

[IΔG], [U>], [U<], [P<sub>обр</sub>], [Z<], [Φ<], [F], [КИН],  
[статора и ротора от з.з. и перегрузок]

##### ЗАЩИТЫ ТБ:

[IΔТБ], [I0], [U0], [ГЗ], [I>]

##### ЗАЩИТЫ ТСН:

[IΔТСН], [I>], [ГЗ ТСН], [ГЗ РПН]

##### ЗАЩИТЫ ТВ:

[I>], [I>>]

### СИСТЕМА В

#### ШЭ1112

##### ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРА:

[IΔG], [U>], [U<], [P<sub>обр</sub>], [Z<], [Φ<], [F], [КИН],  
[статора и ротора от з.з. и перегрузок]

##### ЗАЩИТЫ ТБ:

[IΔТБ], [I0], [U0], [ГЗ], [I>]

##### ЗАЩИТЫ ТСН:

[IΔТСН], [I>], [ГЗ ТСН], [ГЗ РПН]

##### ЗАЩИТЫ ТВ:

[I>], [I>>]

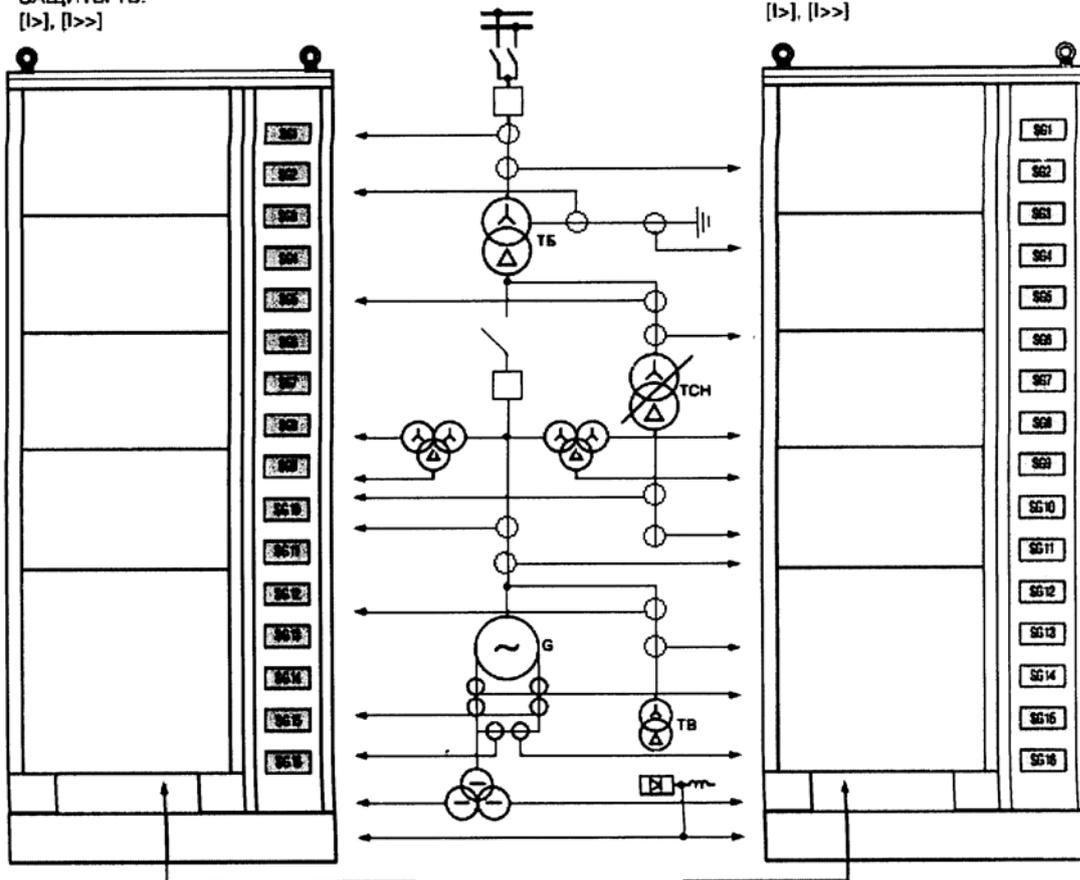


Рисунок 4 -12 Схема защит генераторных блоков А и В

## **Заключение**

В электроэнергетических сетях происходит большое количество аварий и для того что бы их уменьшить не обходимо устанавливать защиты на Электростанциях и подстанциях, в основном это касается: трансформаторов, автотрансформаторов генераторов, ЛЭП и множества другого оборудования. В результате аварии через электрооборудование протекают большие токи, которые выводят из строя их. Главной задачей было выбрать необходимые защиты и рассчитать уставки их срабатывания для блока генератор-трансформатор КЭС.

Для защиты мы воспользовались продукцией ЭКРА, которая выпускает множество цифровых защиты. Для защиты блока мы использовали шкафы типа ШЭ1111 и ШЭ1112, которые образуют комплекс защит мощных блоков генератор-трансформатор с двумя взаимно резервируемыми автономными комплектами защит. Произвели расчет всех необходимых электрических величин и рассчитали уставки срабатывания защит.

## 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является технико-экономическое обоснование проектирование электрооборудования, режимов, релейной защиты и автоматики КЭС 4000 МВт .

Реконструкция позволит повысить быстродействие, селективность, чувствительность и надежность релейной защиты и, как следствие, повысить надёжность электроснабжения потребителей. Для достижения этих целей выбираем защиту принимаемую комплексом из двух шкафов ШЭ1111 и ШЭ1112 компании «ЭКРА».

Для ТЭО проведения анализа произведем необходимые расчеты:

1. Планирование научно-технического исследования;
2. Расчёт научно-технической эффективности;
3. Расчет затрат на проектирование релейной защиты основного оборудования станции;
4. Расчет затрат на оборудование и монтаж.

### 5.1 Планирование научно-технического исследования

Таблица 5-1 Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Проведение теоретических расчетов и обоснований	5	Составление схемы КЭС	Инженер
	6	Состав защит КЭС	Инженер

	7	Расчет токов КЗ	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Инженер
	10	Проверка проекта руководителем	Научный Руководитель
Сдача проекта	11	Защита проекта	Научный руководитель Инженер

## 5.2 Расчёт научно-технической эффективности

В идеале, любое проектирование должно начинаться с выявления требований потенциальных потребителей. После такого анализа становится возможным вычислить единичный параметрический показатель

$$q = \frac{P}{P_{100}} \cdot p, \quad (4.1)$$

где  $q$  – параметрический показатель;

$P$  – величина параметра реального;

$P_{100}$  – величина параметра гипотетического (идеального) объекта, удовлетворяющего потребность на 100%;

$p$  – вероятность достижения величины параметра; вводится для получения более точного результата с учетом элемента случайности, что позволяет снизить риск осуществления проекта, принимаем  $p=0,9$

Каждому параметрическому показателю по отношению к объекту соответствует некий вес  $d$ , разный для каждого показателя. После вычисления всех единичных показателей становится реальным вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие объекта потребности в нем (полезный эффект или качество объекта):

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i, \quad (4.2)$$

где  $Q$  – групповой технический показатель (по техническим параметрам);

$q_i$  – единичный параметрический показатель по  $i$ -му параметру;

$d_i$  – вес  $i$ -го параметра;

$n$  – число параметров, подлежащих рассмотрению.

Таблица 5-2 - Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вспокзателей	Новшество ЭКРА		Конкурент ЧЭТЗ		Идеальное УРЗА	
		$P_i$	$q_i$	$P_i$	$q_i$	$P_{100}$	$q_{100}$
1. Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества), $Q$		$Q_n$		$Q_k$		$Q_{100}=1$	
1.1 коммутации цепей постоянного тока с индуктивной нагрузкой, секунд	0,04	70	0.63	30	0.27	100	0,9
1.2 Коммутационная способность контактов реле, регистраторов дискретных сигналов ВТ	0,2	40	0.36	28	0.25	100	0,9
1.3 Правильность работы при изменении напряжения постоянного оперативного тока, (%)	0,2	63	0.57	47	0.42	100	0,9
1.4 выдерживают тока без повреждения, сек	0,2	58	0.53	40	0.36	100	0,9
1.5 последующая подача питания автоматически включаться в работу с перезапуском терминалов сек.	0,1	82	0.74	57	0.51	100	0,9

$$Q_n = \sum_{i=1}^n q_i d_i = (0,04 \cdot 0,63) + (0,2 \cdot 0,36) + (0,2 \cdot 0,57) + (0,2 \cdot 0,53) + (0,1 \cdot 0,74) = 0,879 \quad (4.3)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^n q_i d_i = (0,04 \cdot 0,27) + (0,2 \cdot 0,25) + (0,2 \cdot 0,42) + (0,2 \cdot 0,36) + (0,1 \cdot 0,51) = 0,794 \quad (4.4)$$

Показатель конкурентоспособности новшества по отношению к базовому объекту будет равен

$$K_{ту} = \frac{Q_n}{Q_k} = \frac{0,879}{0,794} = 1,1(4.5)$$

где  $K_{ту}$  – показатель конкурентоспособности нового объекта по отношению к конкурирующему по техническим параметрам (показатель технического уровня);

$Q_n, Q_k$  – соответствующие групповые технические показатели нового и базового объекта.

Таблица 5-3 – Объяснение величин параметров.

Характеристики	Новшество:ЭКРА
1.1 коммутации цепей постоянного тока с индуктивной нагрузкой, секунд	Контакты выходных реле шкафа при коммутации цепей постоянного тока с индуктивной нагрузкой с постоянной времени
1.2 Коммутационная способность контактов реле, регистраторов дискретных сигналов ВТ	В каждой из систем защит могут быть предусмотрены контактные выходы для воздействия на регистратор дискретных сигналов или АСУ ТП с возвратом после исчезновения воздействующего сигнала.
1.3 Правильность работы при изменении напряжения постоянного оперативного тока, (%)	Шкафы правильно работают при изменении напряжения постоянного оперативного тока от минус 20 % до плюс 10 % относительно номинального значения
1.4 Выдерживают тока без повреждения, сек	Элементы шкафов в нормальном режиме, обтекаемые током, длительно выдерживают 120 % номинальной величины переменного тока, 110% номинальной величины напряжения оперативного постоянного тока и 115 % номинальной величины переменного напряжения.
1.5 Последующая подача питания автоматически включаться в работу с перезапуском терминалов сек.	Шкафы не срабатывают ложно при снятии, подаче или кратковременном исчезновении напряжения постоянного оперативного тока. При перерывах в питании более 150 мс блоки питания могут автоматически отключаться и при последующей подаче питания автоматически включаться в работу с перезапуском терминалов в течение не более 30 с.

Превосходство над оппонентами обеспечивается за счет того, что продукция данного производителя широко распространена на отечественном рынке и пользуется заслуженной популярностью. Этого удалось достичь, в первую очередь, за счет надежности и качества. Преимуществ у микропроцессорных защит много: это меньшие габаритные размеры,

постоянная самодиагностика, совмещение в одном устройстве функций различных защит, управления, измерения, регистрации событий, оперативное внесение изменений в программы защит, в том числе и для исправления проектных ошибок и прочее. Если учесть все эти составляющие, то можно смело утверждать, что цена функций в таких изделиях сопоставима с электромеханическими защитами (а чаще – ниже) и это выбивает главный аргумент сторонников электромеханики.

Таблица 5-4 - Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение $i$ -го фактора
	$d_i$	$K_{длi}$	$K_{длi} \cdot d_i$
1. Новизна полученных или предполагаемых результатов (критерий оценки: обобщен имеющийся опыт)	0,1	0,3	0,03
2. Перспективность использования результатов (критерий оценки: использование для предварительного рабочего проектирования в расчётных группах РЗА, ОДУ, ЦУС, РДУ)	0,4	0,1	0,04
3. Завершенность полученных результатов (критерий оценки: написан отчет по теме)	0,3	0,1	0,03
4. Масштаб возможной реализации полученных результатов (критерий оценки: КЭС 4000МВт)	0,2	0,1	0,02
Результативность	$K_{ны} = \sum(K_{длi} \cdot d_i) = 0,14$		

### 5.3 Расчёт затрат на проектирование РЗ

#### Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  используем следующую формулу:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2 \text{ чел} - \text{дни} (5.6)$$

Где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы человеко-дни;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитываем параллельность выполнения работ несколькими исполнителями

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \text{ дней} (4.7)$$

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

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни.

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

### **Разработка графика проведения научного исследования**

Коэффициент календарности определяем по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, (5.8)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 4,2 \cdot 1,22 = 5 \text{ дней} (5.9)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу.

Таблица 5-5 - Временные показатели проведения научного исследования

№ п/п	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		работ в календарных днях	
		$t_{\text{мин}}$ , человеко- дни		$t_{\text{макс}}$ , человеко- дни		$t_{\text{ср}}$ , человеко- дни					
		Научный	Инженер	Научный	Инженер	Научный	Инженер	Научный	Инженер	Научный	Инженер
1	Составление и утверждение ТЗ	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
2	Подбор и изучение литературы по теме	-	3	-	6	-	4,2	-	4,2	-	5
3	Выбор направления исследований	1	3	2	8	1,4	5	0,7	2,5	1	3
4	Ежедневное планирование работ по теме	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
5	Составление схемы КЭС	-	10	-	12	-	10,8	-	10,8	-	13
6	Описание состава защит КЭС	-	13	-	29	-	19,4	-	19,4	-	23
7	Расчет токов КЗ	-	13	-	29	-	19,4	-	19,4	-	23
8	Оценка эффективности полученных результатов	1	2	3	4	1,8	1,4	2	3	1	2
9	Составление пояснительной записки	-	6	-	10	-	7,6	-	7,6	-	10
10	Проверка проекта руководителем	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
11	Сдача проекта	1	2	2	4	1,4	2,8	0,7	1,4	1	2

Таблица 5-6– Календарный план проведения научного исследования по теме  
(с нарастающим итогом)

№ работ	Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн.
1	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель	2
2	Подбор и изучение литературы по теме	Инженер	5
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель Инженер	4
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель	2
5	Составление схемы замещения	Инженер	13
6	Состав защит линии и силовых трансформаторов	Инженер	23
7	Расчет уставок и чувствительности защищаемой линии	Инженер	23
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель Инженер	3
9	Составление пояснительной записки	Инженер	10
10	Проверка проекта руководителем	Научный руководитель	2
11	Сдача проекта	Научный Руководитель Инженер	3
12	Итого :		90

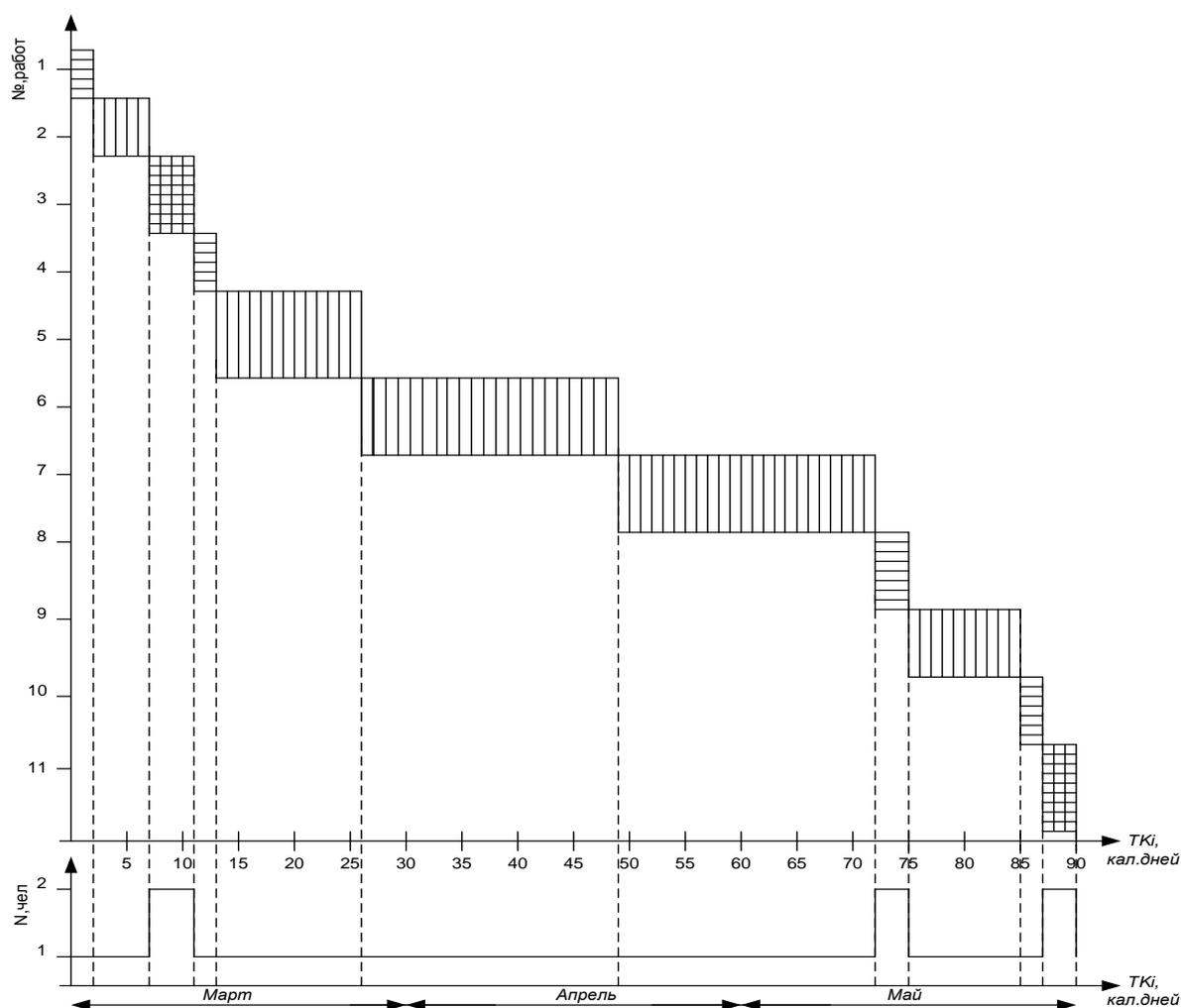


Рисунок 5-13 – Календарный график и график занятости исполнителей проведения научного исследования по теме

Где

 – научный руководитель;  – инженер;

 – научный руководитель и инженер.

#### 5.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В

процессе формирования бюджета научного исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты научного исследования;
- оплата труда;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- амортизация
- прочие расходы
- накладные расходы.

### **Расчет материальных затрат**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 5-7 – Расходы на канцелярские товары

Наименование	Цена, (руб.)	Кол-во (шт.)	Общая стоимость, (руб.)
1. Бумага А4 «Снежинка»	550	1	550
2. Карандаш	20	2	40
3. Ластик	30	1	30
4. Ручка	50	2	100
5. КартриджPanasonic КХ- FAT400A7	5500	1	5500
6. Линейка	50	3	150
7. Калькулятор	259	1	259
Итого:			6629

### **Заработная плата исполнителей темы**

В данную тему включается заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет заработной платы приведен ниже.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot k_{\text{Д}} \cdot k_{\text{Р}} \quad (4.10)$$

Где

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

$k_{\text{Д}} = 1,16$  – коэффициент дополнительной заработной платы руководителя;

$k_{\text{Д}} = 1,08$  – коэффициент дополнительной заработной платы инженера;

$k_{\text{Р}} = 1,3$  – районный коэффициент для Томска.

Месячный должностной оклад инженера, руб.:

$$Z_{\text{м}} = 16751 \cdot 1,08 \cdot 1,3 = 23518,4$$

Среднедневная заработная плата инженера, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{23518,4}{30} = 739$$

Заработная плата инженера, руб.:

$$Z = 70555,2$$

Месячный должностной оклад научного руководителя, руб.:

$$Z_{\text{м}} = 23264,9 \cdot 1,16 \cdot 1,3 = 35083,47$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{35083,47}{30} = 1169,45$$

Заработная плата руководителя, руб.:

$$Z = 105250,41$$

Итого по зарплате:  $Z_{\text{з.пл}} = 175805,61$  рублей.

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

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 по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z, (4.11)$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды, руб: равны 30% от оплат.

$$Z_{внеб.} = k_{внеб.} \cdot Z_{з.пл} = 30 \cdot 175805,6 = 52741,7 \text{ руб.}$$

### Амортизация

Затраты, связанные с приобретением оборудования, необходимого для проведения работ.

Таблица 5-8 Расчет бюджета затрат на приобретение основных средств

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Лицензия на программное обеспечение Microsoft Visio Standart	1	28500	28500
2	Лицензия на программное обеспечение Microsoft Office	1	3 500	3 500
3	Оргтехника, комплект (компьютер, принтер, сетевой фильтр)	2	55600	111200
5	Мебель, комплект (стол, кресло).	2	21305	42610
Итого:				185810

В связи с длительностью использования, стоимость основных средств учитывается с помощью амортизации:

$$A = \frac{\text{стоимость} \cdot N_{\text{дней использования}}}{\text{срок службы} \cdot 365} (4.12)$$

Амортизация оргтехники, программного обеспечения:

$$A_{\text{комп.}} = \frac{143200 \cdot 90}{5 \cdot 365} = 7062 \text{ руб.}$$

Амортизация мебели:  $A_{\text{меб.}} = \frac{42610 \cdot 90}{10 \cdot 365} = 1051 \text{ руб.}$

$$Z_{\text{ам}} = A_{\text{комп.}} + A_{\text{меб.}} = 7062 + 1051 = 8113 \text{ руб.}$$

### **Прочие неучтенные расходы**

К прочим затратам относятся налоги, сборы, затраты на командировки, затраты на ремонт и т.п.

$$Z_{\text{проч}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{з.пл}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{ам}}) \cdot 0,1 = 235987,61 \text{ руб.}, (4.13)$$

### **Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, расходы, копирование документов и т.д. и составляют 400% от заработной платы исполнителей. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл.}} = Z_{\text{з.пл}} \cdot 4 (4.14)$$

Накладные расходы, руб.:

$$Z_{\text{накл.}} = Z_{\text{з.пл}} \cdot 4 = 703222,44 \text{ руб.}$$

### **Формирование бюджета затрат научно-технического исследования**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-техническое исследование приведено в таблице 5.9.

Таблица 5-9 – Расчет бюджета затрат научного исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИ	6629
2. Затраты по заработной плате исполнителей темы	175805,61
3. Отчисления во внебюджетные фонды	52741,7
4. Амортизация	8113
5. Прочие расходы ((п.1+п.2+п.3+п.4)*0,1)	235987,61
6. Накладные расходы	703222,44
7. Итого себестоимость разработки (п.1+п.2+п.3+п.4+п.5+п.6)	1182499,36
8. Прибыль (п. 7*0,2)	236499,87
9. Договорная цена (п. 7+п. 8)	1418999,23

### 5.5. Определение капитальных вложений в РЗА

Материальные затраты на оборудование:

Капитальные вложения в проектирование электрооборудования, режимов, релейной защиты и автоматики КЭС 4000 МВт, складываются из стоимости проектирования РЗ, из затрат на монтаж и отладку оборудования (комплектов защиты), из стоимости самого оборудования по выражению:

$$K = K_{\text{проект}} + K_{\text{оборуд}} + K_{\text{монтаж}}$$

$K_{\text{проект}}$  – затраты на выполнение проекта

$K_{\text{оборуд}}$  – стоимость комплектов защит

$K_{\text{монтаж}}$  – затраты на монтаж и отладку оборудования

(4.15)

Таблица 5-10- Стоимость установки и наладки комплектов РЗ

Наименование оборудования и материалов	Тип, марка	Единица измерения	Количество	Цена за единицу	Стоимость, руб.
Кабель	АПВВНГ 3 × 50	м.	120	654	78480
Шкаф	ШЭ1111	компл.	1	730000	730000
Шкаф	ШЭ1112	компл.	1	735000	735000
Электроды	Э-3мм	уп.	1	550	550
Изолента	ПВХ	шт.	3	50	150
Болт	М12	шт.	20	31,43	628,6
Гайка	М12	шт.	20	190,41	3808,2
Шайба	12 мм	шт.	20	48	960
Зажим для крепления кабеля	стек	шт.	36	350	1800
Итого:					1551376,8

$K_{\text{проект}} = 1418999,23 \text{ руб.}$

$K_{\text{об}} = 1551376,8 \text{ руб.}$

Монтаж оборудования составляет 20% от стоимости оборудования

Поэтому, стоимость монтажа  $K_{\text{мон}} = 1551376,8 \cdot 0,2 = 310275,36 \text{ руб.}$

Суммарные капитальные вложения в проект шкафов релейной защиты КЭС 4000 МВт равны:

$K = 1418999,23 + 1551376,8 + 310275,36 = 3280651,39 \text{ тыс. руб.}$

## **6. Социальная ответственность**

### **Описание рабочей зоны**

Объектом исследования является релейная защита и автоматика (РЗА) КЭС-4000МВт. Рассчитанные устройства РЗА и ПАВ будут установлены на общестанционном пункте управления (ОПУ), который находится непосредственно на территории станции. В ОПУ возможно проведение следующих работ:

- монтажно – наладочные работы;
- настройка оборудования;
- контрольно – измерительные работы;
- профилактические осмотры оборудования;
- ремонт оборудования.

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

При выполнении вышеперечисленных работ возможны следующие виды опасностей согласно [10]:

а) опасные факторы:

Опасный фактор – это фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

- прикосновение к частям электропроводки или оборудования, не находящимся под напряжением, но по ряду причин оказавшихся под напряжением (например, при КЗ);

- пожар;
- электрический ток;
- статическое электричество;

б) вредные факторы:

факторы, связанные с характером среды помещения:

- температура воздуха рабочей зоны;
- влажность воздуха;

- уровень шума;
- запыленность воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещенность рабочих мест;
- тепловое излучение;
- скорость движения воздуха;
- воздействие электромагнитного поля.

Вредный фактор — фактор среды и трудового процесса, который может вызвать профессиональную патологию, временное или стойкое снижение работоспособности, повысить частоту соматических и инфекционных заболеваний, привести к нарушению здоровья потомства.

Перед началом работ в условиях производственного риска необходимо выделить опасные для людей зоны, в которых постоянно действуют или могут действовать опасные факторы, связанные или не связанные с характером выполняемых работ.

К зонам постоянно действующих опасных факторов относятся:

- места вблизи от незащищенных токоведущих частей электроустановок;
- места вблизи незащищенных перепадов по высоте 1,8 м. и более.

К зонам потенциально опасных производственных факторов следует относить:

- участки территории вблизи строящегося сооружения;

Места временного или постоянного нахождения работников должны располагаться за пределами опасных зон.

На границах зон постоянно действующих производственных факторов должны быть установлены защитные ограждения, а зон потенциально опасных производственных факторов - сигнальные ограждения и знаки безопасности.

## 6.1.Производственная безопасность

### Электробезопасность

#### Класс помещения по электрической опасности

По действующим правилам (ПУЭ п. 1.1.13) [1] все помещения делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса: без повышенной опасности, с повышенной опасностью и особо опасные.

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие, безпыльные помещения с нормальной температурой воздуха, с изолирующими (например, деревянными) полами, в которых отсутствуют заземленные предметы или их очень мало.

К помещениям с повышенной опасностью относятся помещения:

- сырые, в которых относительная влажность воздуха длительно превышает 75%;

- жаркие, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура воздуха превышает постоянно или периодически (более 1 суток) 350С;

- пыльные, с токопроводящей пылью, в которых по условиям производства выделяется токопроводящая технологическая пыль;

- с токопроводящими полами – металлическими, земляными, железобетонными, кирпичными и т. п., в которых возможно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциями зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п. с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой.

К особо опасным относятся помещения: особо сырые т. е. помещения, в которых относительная влажность воздух близка к 100%; с химической активной или органичной средой, содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

С учетом представленных выше условий и факторов помещение службы СРЗА и ПА относятся к помещениям с повышенной опасностью, т.к. помещение с токопроводящими полами – металлическими, земляными, железобетонными, кирпичными и т. п., в которых возможно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциями зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п. с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой.

Главной опасностью для человека при обслуживании СРЗА является поражение электрическим током. Электро травматизм по числу травм с тяжелым исходом, и особенно летальным исходом, занимает одно из первых мест. В связи с этим к обслуживанию и ремонту средств релейной защиты и автоматики предъявляются особые требования.

Основные требования выполняемые в помещении СРЗА:

- оборудование должно быть в требуемом техническом состоянии;
- изоляция электрооборудования и токоведущих частей должна быть исправна;
- наличие и исправность заземления электроустановок;
- помещение должно находиться в надлежащем порядке.

Общие положения

К оперативному обслуживанию электроустановок могут допускаться специально обученные лица, знающие их схемы, эксплуатационные инструкции, особенности оборудования и прошедшие обучение и проверку знаний ПТЭ и ПТБ [3].

Оперативное обслуживание предусматривает периодические осмотры электрооборудования распределительных устройств, приборов релейной защиты и автоматики, кабельных и воздушных линий (ВЛ), а также производство необходимых оперативных переключений в электрических сетях:

- в электроустановках выше 1000 В дежурный или оперативно-ремонтный персонал, единолично обслуживающие электроустановки, и старшие по смене должны иметь IV квалификационную группу, остальные – группу III;

- в электроустановках до 1000 В лица из числа дежурного или оперативно – ремонтного персонала, единолично обслуживающие электроустановки должны иметь группу не ниже III.

Осмотр электроустановок электростанций и подстанций может выполнять одно лицо с группой III из числа дежурного, оперативно – ремонтного персонала либо с группой V из числа административно – технического персонала. Остальному электротехническому персоналу осмотр разрешается выполнять под надзором одного из перечисленных лиц [3].

Работы в действующих электроустановках подразделяются на следующие категории:

- со снятием напряжения с токоведущих частей;
- при частичном снятии напряжения;
- без снятия напряжения на токоведущих частях;
- без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Работа при полном снятии напряжения производится в электроустановке (или её части), где со всех токоведущих частей (в том числе с линейных и кабельных вводов) снято напряжение и где нет незапертого входа в соседнюю электроустановку, находящую под напряжением

Работа с частичным снятием напряжения производится в открытой электроустановке или в электроустановке (или ее части), расположенной в отдельном помещении, где снято напряжение только с тех присоединений, на которых производится работа, или где напряжение полностью снято, но есть вход в соседнюю электроустановку, находящуюся под напряжением.

Работу без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением необходимо производить:

- с принятием мер (технических или организационных), предотвращающих возможность приближения работающих людей и используемой ими ремонтной оснастки и инструмента к токоведущим частям на опасное расстояние;

- с помощью изолирующих защитных средств и приспособлений.

При работе, которая выполняется вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением необходимо исключить случайное приближение работающих людей и используемых ими ремонтной оснастки и инструмента к токоведущим частям на опасное расстояние;

- с помощью изолирующих защитных средств и приспособлений.

При работе, которая выполняется вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением необходимо исключить случайное приближение работающих людей и используемых ими ремонтной оснастки и инструмента к токоведущим частям на опасное расстояние.

При работе на токоведущих частях, находящихся под напряжением, при помощи основных изолирующих средств (оперативные и измерительные штанги, указатели напряжения, изолирующие и токоизмерительные клещи и т. д.) необходимо:

Пользоваться только сухими и чистыми изолирующими средствами с неповрежденным лаковым покрытием;

Держать изолирующие средства так, чтобы не возникла опасность перекрытия поверхности изоляции между токоведущими частями двух фаз на землю и только за ручки захваты не дальше ограничительного кольца.

Запрещается применять неисправные, неиспытанные защитные изолирующие средства, а так же защитные средства, срок очередного испытания которых истек.

Монтаж и эксплуатация измерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), телемеханики (Т) и средств связи.

Для обеспечения безопасности работ, производимых в цепях измерительных приборов и устройств РЗ, все вторичные цепи, обмотки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН) должны иметь постоянное заземление. В сложных системах релейной защиты для группы электрических вторичных обмоток ТТ, независимо от т числа, допускается заземление только в одной точке.

При необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов и реле, цепь вторичной обмотки ТТ должна быть предварительно закорочена на специально предназначенных для этого зажимах. Запрещается производить в цепях между ТТ и зажимами, где установлена закоротка, работы, которые могут привести к размыканию цепи.

Работа в цепях устройств РЗА и измерительных трансформаторов должна производиться по исполнительным схемам, работа без схем, по памяти, запрещается. При работах в цепях РЗА и Т необходимо пользоваться специальными электротехническим инструментом с изолированными ручками, металлический стержень отверток должен быть изолирован от ручки до жала отвертки.

При работах в цепях ТН с подачей напряжения от постороннего источника необходимо вынуть предохранители со сторон высшего и низшего напряжения и отключить автоматы от вторичных обмоток. При необходимости производства работ в цепях или на аппаратуре РЗА и Т при включенном основном оборудовании должны быть приняты дополнительные меры против случайного отключения. При монтаже и эксплуатации измерительных приборов, устройств РЗА, вторичных цепей, телемеханики и средств связи, производимых по нарядам и распоряжениям, без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, разрешается совмещение в одном лице обязанностей допускающего и производителя работ.

Техника безопасности при обслуживании устройств РЗА ОПУ.

Мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

Организационные мероприятия

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление работ нарядом и или распоряжением;
- выдача разрешения на подготовку рабочих мест и допуска бригады к работе;
- допуск к работе;

- надзор за безопасностью работающих во время выполнения работы;
- оформление перерыва в работе, переводов на другое место работы.

Работы в электроустановках производятся по письменному или устному распоряжению. Наряд – допуск (наряд) есть составленное на специальном бланке распоряжение на безопасное проведение работы, определяющее её содержание, место, время начала и окончания, необходимые меры безопасности, состав бригады и лиц ответственных за безопасное выполнение работы.

Ответственное лицо оперативного персонала – допускающий – несет ответственность:

- за правильность выполнения необходимых для допуска и производства работ мер безопасности, их достаточность и соответствие характеру и месту работы;
- за правильность допуска к работе, приемку рабочего места по окончании работы с оформлением в нарядах и журналах.

Ответственный руководитель (при работах по наряду) отвечает за численный состав бригады, определяемый из условий обеспечения возможности надзора со стороны производителя работ (наблюдающего), и за достаточную квалификацию лиц включенных в состав бригады.

### **Технические мероприятия**

Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям, которые могут оказаться под напряжением согласно .

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землёй металлических токоведущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Цель защитного заземления – устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т. е. при замыкании на корпус.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при опасности поражения током. Устройства защитного отключения должны обеспечивать отключение за время не более 0,2 с. Так же к техническим мерам, обеспечивающие безопасность работ относится применение специальных средств защиты. К ним относятся: изолирующие, ограждающие, предохранительные.

Изолирующие:

- Основные, способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки. К ним относятся: в электроустановках до 1000 В – диэлектрические резиновые перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками и указатели напряжения до 1кВ; в электроустановках выше 1000 В – изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, и указатели напряжения выше 1000 В.

- Дополнительные средства защиты не способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки, они дополняют основные электрозщитные средства. К ним относятся: в электроустановках до 1000 В – диэлектрические галоши, коврики, изолирующие подставки; в электроустановках выше 1000 В – диэлектрические перчатки, боты коврики, изолирующие подставки.

Ограждающие средства защиты

Предназначены для временного ограждения токоведущих частей, при приближении к ним людей.

Предохранительные средства защиты

Предназначены для индивидуальной защиты работающего от световых, тепловых и механических воздействий.

## **6.2.Обеспечение санитарных норм по уровню шума**

Неотъемлемой частью обеспечения эффективной работы является снижение уровня шума до комфортных значений. Шум оказывает негативное влияние на весь организм. Основным источником шумов в рассматриваемой аудитории является система охлаждения компьютерной техники. По характеру спектра данный шум является широкополосным. Согласно СНиП 23-03-2003, уровень шума на рабочем месте в помещениях административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ не должен превышать 60 дБА.

В качестве мер по снижению уровня шума рекомендуется использование современных моделей персональных компьютеров с бесшумными вентиляторами.

## **6.3.Производственная санитария**

### **Экологическая безопасность**

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. В последние годы во всем мире все с большей силой поднимается вопрос об охране окружающей среды.

Защита окружающей среды — это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Одна из самых серьезных проблем — потребление электроэнергии. С увеличением количества различных видов электрооборудования, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и

их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект); загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами; загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Люминесцентные лампы, применяемые в лаборатории для освещения, содержат от 3 до 5 мг ртути, относящейся к 1-му классу токсичных отходов, т.е. "чрезвычайно опасные". Учитывая это, лампы требуют определенных условий для хранения, эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам отходы, содержащие ртуть, должны временно храниться в герметичных емкостях или контейнерах в закрытых помещениях, исключая доступ посторонних лиц. Их перевозка на полигоны складирования должна осуществляться специализированными лицензированными организациями. Размещение отходов на полигонах твердых бытовых отходов категорически запрещается!

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

Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

Производственную санитарную рассмотрим для помещения где находится панели релейной защиты и автоматики. В разделе рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Рассмотрим требования, которые приводят к обеспечению мер по охране труда, таких как организация рабочего места, требования к аппаратуре и ее безопасности, помещению, микроклимату, освещению.

Рабочее место - это зона рабочей площади, которая отводится инженеру для его трудовой деятельности. Рабочим местом инженера-разработчика служат: стул, стол, шкаф и т. д. На каждого инженера-разработчика должно приходиться 5.4 - 7.2 м рабочей площади. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с ГОСТ 12.2.023-78 "Рабочее место при выполнении работ сидя".

Помещения, их размеры должны соответствовать количеству работающих и размещенному в них оборудованию и комплексу технических средств.

Шум в кабинете ПТО возникает как от внутренних, так и от внешних источников.

Согласно ГОСТу 12.1.003-83 рекомендуются допустимые уровни звукового давления для работающих ПЭВМ, приведенные в табл. №23

Для измерения шума применяют шумомеры, анализаторы и другие приборы. Измерения производят в соответствии с ГОСТом 12.1.050-86.

Так как наиболее перспективным направлением снижения шума является создание малошумящего оборудования, то вводится техническое нормирование шума машин. В паспорте машины указывается шумовая характеристика.

Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Эквивалентные уровни звука, Дб

Частота октавных полос, Гц

В соответствии с ГОСТом 12.1.003-83 защита от шума, создаваемого на рабочих местах внутренними источниками, а также шума, возникающего извне, осуществляется следующими методами: уменьшением шума в источнике, если это возможно, применением средств коллективной и индивидуальной защиты.

Для ОПУ наиболее применимым способом является рациональное размещение оборудования или замена оборудования на более современное.

Работы на ПЭВМ в ОПУ относятся к классу легких работ с энергозатратами до 150 Ккал/час. Основным тепловыделяющим оборудованием является ЭВМ суммарных тепловыделений в среднем до 70%-80%. Тепловыделения от приборов освещения оставляют в среднем до 10%-12%. Поступление теплоты от операторов ПЭВМ незначительно 1%-1,5%. Эти источники тепла являются постоянными.

Важным фактором, влияющим на организм человека, являются скорость движения воздуха. Этот фактор может оказать как положительный, так и отрицательный эффект:

- небольшие скорости движения воздуха способствуют испарению влаги с поверхности тела, улучшают теплообмен между организмом и окружающей средой;
- при движении воздуха с большими скоростями возникают сквозняки приводящие к увеличению числа простудных заболеваний работающих.

Для оценки метеоусловий в основных и производственных помещениях ОПУ производят измерения температуры, влажности, запыленности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового и электромагнитного излучения. Результаты измерения сравнивают с нормативами Сан ПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548-96 и Сан ПиН 2.2.2/2.4.1340-03 регламентируются следующие санитарные нормы и оптимальные параметры микроклимата в помещениях с использованием ПВЭМ в рабочей зоне:

Санитарные нормы и оптимальные параметры микроклимата в помещениях с использованием ПВЭМ в рабочей зоне

Температура воздуха, С      Относительная влажность, % Абсолютная влажность, г/м<sup>3</sup>      Скорость движения воздуха, м/с

Вредным веществом, содержащимся в воздухе ОПУ является CO<sub>2</sub>. Предельно допустимая норма содержания CO<sub>2</sub> в воздухе - 20 мг/м<sup>3</sup>. Для решения этой проблемы рекомендуется озеленить лабораторию, поместив в нее комнатные растения в местах, свободных от производственных процессов.

Система отопления в ОПУ должна обеспечить достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещениях в холодный период года, а также безопасность в отношении пожара и взрыва. Также необходимо обеспечить приток воздуха в ОПУ. Минимальный расход воздуха определяется из расчета 50-60 м<sup>3</sup>/ч на одного человека.

Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды в ОПУ применяют искусственную (кондиционеры и т.п.) и естественную вентиляцию (ГОСТ 12.1.005-88).

Рабочая комната должна иметь естественное и искусственное освещение. В ОПУ применено одностороннее, естественное освещение через оконные проемы в наружных стенах. Освещенность помещения естественным светом характеризуется коэффициентом естественной освещенности.

Минимальная норма коэффициента естественной освещенности для рассматриваемого помещения составляет 1,2%, согласно Сан ПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

В условиях недостаточной видимости, утренние и вечерние сумерки, применяют искусственное освещение. В кабинете ПТО применяют искусственное освещение. Для искусственного освещения применяют люминесцентные лампы, у которых высокая световая отдача и продолжительный срок службы.

Согласно действующим Сан ПиН 2.2.2./2.4. 1340-03 для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест - 300 Лк, рекомендуемая - 500 Лк.

В случае, если естественного освещения недостаточно, для обеспечения существующих норм применяют комбинированное освещение 750 Лк. Освещение должно быть мягким без блеска.

## **Обеспечение санитарных норм по производственному освещению**

Рациональное освещение помещений и рабочих мест – один из важнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. При недостаточном освещении успешное выполнение рабочих операций требует от человека дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Обычно на производстве пользуются двумя видами освещения — естественным и искусственным.

Нормированное значение освещённости рабочей поверхности составляет 300-500 лк, коэффициент пульсации не должен превышать при этом 5% (Сан ПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Согласно Сан ПиН 2.2.2/2.4.1340-03, при организации естественного освещения мониторы должны быть расположены боковой стороной по отношению к оконным проёмам, так, чтобы свет падал преимущественно слева. Также должно присутствовать хорошее искусственное освещение, которое обеспечивает возможность работы в помещении в пасмурное или ночное время суток.

## **Обеспечение условий для снижения уровня электромагнитных излучений**

Переменные электромагнитные поля оказывают негативное воздействие на организм человека, последствия которого зависят от напряженности электрического и магнитного полей, частоты излучения и индивидуальных способностей организма. При длительном воздействии у работающих в зоне электромагнитного излучения различной частоты возникают повышенная утомляемость, сонливость или нарушение сна, боли в области сердца, торможение рефлексов.

Максимальный уровень рентгеновского излучения на рабочем месте оператора компьютера обычно не превышает 10 мкбэр/ч, а интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучений от экрана монитора составляет 10... 100 мВт/м<sup>2</sup>.

Таблица 6-1– Временные допустимые уровни электромагнитного поля, создаваемые ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)

Наименование параметра		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 25.

Для снижения воздействия излучений на операторов компьютеров рекомендуется применять мониторы с пониженной излучательной способностью, в частности – с жидкокристаллическим экраном, соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха, а также следующие требования к организации рабочего места оператора:

- высота стола с клавиатурой должна составлять 62...88 см над полом, а высота экрана – 90... 128 см;

- расстояние от экрана до края стола – 40... 115 см;

- наклон экрана –  $-15...+20^{\circ}$  по отношению к нормальному его положению.

#### **6.4.Пожарная безопасность**

Пожар – это неконтролируемое горение во времени и пространстве; пожар наносит материальный ущерб и создает угрозу жизни и здоровью человека.

Причины возникновения пожара в компьютерной аудитории могут быть:

- 1) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов);

- 2) неправильное устройство и неисправность вентиляционной системы;
- 3) самовоспламенение и возгорание веществ;
- 4) короткое замыкание
- 5) статическое электричество

В современных ЭВМ очень высока плотность размещения электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммуникационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80-100 °С. При этом возможно оплавления изоляции соединительных проводов, их оголение и, как следствие, короткое замыкание, сопровождаемое искрением, которое ведет к недопустимой перегрузки элементов электронных схем. Они, перегреваясь, сгорают, разбрызгивая искры.

Следовательно, допускается работа только на исправных установках и приборах. К работе могут допускаться лица, прошедшие инструктаж, по технике безопасности.

Согласно нормам первичных средств пожаротушения ( Постановление Правительства РФ № 390 от 28 апреля 2012 г.) с учётом наличия электроустановок напряжением до 1000 В, на 100 м<sup>2</sup> должны быть: один углекислотный огнетушитель типа ОУ-2, ОУ-5 или ОУ-8. Согласно Федеральному закону от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» категория по пожарной опасности – В-4 т.к. имеются твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыль и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть.

Сотрудники кабинета должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки (рис. 14).



Рисунок 6-14- План эвакуации при пожаре и чрезвычайных ситуациях.

### Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее возможными чрезвычайными ситуациями в рассматриваемом помещении являются возникновение пожара и поражение электрическим током.

Для предупреждения ЧС необходимо строгое соблюдение правил безопасности и норм, определяющих порядок работы с оборудованием, а также поддержка в исправном состоянии электросети и подключаемых к ней приборов.

В случае поражения человека электрическим током необходимо принять меры к освобождению пострадавшего от тока и немедленно приступить к оказанию ему первой помощи:

- Освободить человека от действия электрического тока, отключив электроустановку или оттянув от нее человека за одежду;
- Установить степень поражения и в соответствии с состоянием пострадавшего оказать ему медицинскую помощь.

## **6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения**

### **безопасности**

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Электромонтерам приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Такие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки», Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда».

Люди работающие на вредных производствах обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций». Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива.

Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

Ежегодно на социальные программы выделяются солидные средства.

Сюда входит:

-организация санаторном курортного лечения, оздоровление работников и их детей;

- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

В организационные вопросы обеспечения безопасности труда входит разработка инструкций по работе и обслуживанию электрических аппаратов и оборудования. Проведение обучения работы с оборудованием и проверка знаний.

К самостоятельной работе допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучения по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте. Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит дежурный инженер. Повторный инструктаж электромонтер получает ежеквартально.

После первичного инструктажа в течение первых двух – пяти смен должен выполнять работу под наблюдением электромастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.

## Список используемой литературы:

1. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справ.материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Вавин В.Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор. - М.: Энергоиздат, 1982.
3. Глазырин В.Е., Расчет уставок микропроцессорной релейной защиты блока генератор-трансформатор : учеб.пособие / В.Е. Глазырин, А.И. Шалин. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. -130 с.
4. Копьев В.Н. Релейная защита. Проектирование: Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2012. - 100с.
5. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб.пособие / А. М. Федосеев. – М. :Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
6. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб.пособие / А. М. Федосеев, М. А. Федосеев. – Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.:
7. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования – М., : НЦ ЭНАС, 2001. – 152 с.
8. Электрическая часть электростанций и подстанций : справ. материалы для курсового и дипломного проектирования . – М. : Энергия, 1972. – 336 с.
9. Рожкова Л.Д. , Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.-2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
10. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 288 с., ил.

11. Неклепаев Б.Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.

12. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009. – 392 с. : ил.

13. Электрическая часть станций: Метод. указ. по выполн. курс. проекта для студентов специальности 100200 –электрические сети ИДО. /Сост. Н.В. Коломиец. – Томск: Изд. ТПУ, 2006 –с.

14. ПУЭ – 7. Правила устройства электроустановок. М.: [Сибирское университетское издательство](#), 2007. 512 с.

15. Электротехнический справочник. В 3 т. Т. 3. Производство и распределение электрической энергии ( Под общей ред. профессоров МЭИ: И.Н. Орлова и др.) 7-е изд.: испр. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 880 с.

**В настоящей работе представлены ссылки на следующие стандарты:**

16. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

17. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

18. ПОТ РМ-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.

19. ГОСТ 12.2.013-91 ССБТ. Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытания.

20. ПОТ РМ-012-2000. Межотраслевые правила по охране труда при работе на высоте.

21. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

22.ПОТ РМ-007-98. Межотраслевых правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов.

23.ГОСТ 12.3.009-76 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности.

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

25.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

26.ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

27.СП 52.13330.2011 «СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение, нормы проектирования».

28.Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2000.

29.ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

30.СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".

31.ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

32.ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

33.ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

34.Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

35.НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

36.Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 «О противопожарном режиме».

37.Пособие к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации "Охрана окружающей среды".

38.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно- защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

39.ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.