

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция электрической части подстанции 35/10 кВ «Морец»

Студент

В.О. Шелковин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

В данной выпускной квалификационная работа на тему «Реконструкция электрической части подстанции 35/10 кВ Морец» содержится 55 страниц, 11 таблиц, 7 рисунков, 20 источников литературы.

Объектом исследования является Понижительная подстанция переменного тока 35/10 кВ «Морец».

Цель работы заключается в разработке подстанции, удовлетворяющей требованиям надежности, безопасности при эксплуатации, выбор электрооборудования в соответствии с нормативными документами, удовлетворяющее номинальным данным.

В работе произведён расчёт токов короткого замыкания и осуществлён выбор и проверка коммутационных аппаратов.

Значимость работы обусловлена тем, что теоретические и практические рекомендации, выполненный в работе, могут быть использованы специалистами электросетевых компаний при проектировании и реконструкции подстанций.

Разработанный проект обеспечивает надежное и качественное электроснабжение потребителей с минимальными затратами на строительство.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая часть.....	7
1.1 Анализ существующей системы электроснабжения.....	7
1.2 Расчет мощности нагрузки на шинах подстанции.....	10
1.3 Выбор трансформаторов.....	11
1.4 Разработка структурной схемы подстанции.....	15
1.5 Разработка упрощенной принципиальной электрической схемы подстанции.....	20
2 Расчетная часть.....	24
2.1 Расчет токов короткого замыкания.....	24
2.2 Выбор электрических аппаратов.....	31
2.2.1 Выбор высоковольтных выключателей 35 кВ.....	32
2.2.2 Выбор разъединителей 35 кВ.....	35
2.2.3 Выбор трансформаторов тока 35 кВ.....	36
2.2.4 Выбор высоковольтных выключателей 10 кВ.....	39
2.2.5 Выбор трансформаторов тока и напряжения 10 кВ.....	41
2.2.6 Выбор трансформаторов собственных нужд подстанции.....	44
3 Охрана труда и электробезопасность.....	48
3.1 Организация работы по охране труда на предприятии.....	48
Заключение.....	53
Список используемых источников.....	54

Введение

Электрическая энергия - это перспективный вид источника энергии, преимуществом которой составляет возможность транспортировки на значительные расстояния, а также способность трансформации в другие виды энергии.

Понижающая трансформаторная подстанция, в составе единой энергетической системы, определяется перспективными планами по расширению и развитию электрических сетей, а также всей энергосистемы в целом. В распределительном сетевом комплексе разработка системы электроснабжения подстанций должно быть нацелено на удовлетворение потребностей внешнего электроснабжения потребителей электроэнергии, улучшение электрической схемы электроснабжения путем обеспечения мероприятий регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой в нормальных режимах работы электрической подстанции, в том числе и аварийных, а также установку трансформаторов с АРПН. Уменьшение недогруженных и перегруженных частей электрической системы в целях уменьшения потерь электроэнергии, компенсация и ограничение токов короткого замыкания.

Новые и реконструируемые и модернизируемые объекты с напряжением 35кВ и выше необходимо оснащать современными комплексными устройствами мониторинга и диагностики технического состояния, в том числе для элегазовых распределительных устройств, силовых трансформаторов, шунтирующих и дугогасящих реакторов и др. Выполнение современных проектных задач обеспечивает надежное и качественное снабжение электроэнергией потребителей, требуемый уровень технических процессов, а также экономический эффект, экологические требования и охрану природы, в том числе ремонтпригодность выбранного оборудования [3].

Проектную документацию по подстанции требуется выполнять в соответствии с действующей технической и нормативной документацией, в том числе в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [9], и действующей редакцией «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ СТО 56947007-29.240.10.248-2017 [15], а также действующих в отрасли правил, норм и инструкций.

При рассмотрении электрической схемы подстанции требуется предусматривать:

- а) надежное и качественное электроснабжение потребителей;
- б) внедрение передовых проектных решений, обеспечивающих соответствие всего комплекса показателей подстанций современному техническому уровню;
- в) высокий уровень технологических процессов и качества строительных и монтажных работ;
- г) экономическую целесообразность вложенных инвестиций, разумным соотношением используемых материалов и ресурсов, требуемой занимаемой площади и снижением затрат на техническое и оперативное обслуживание;
- д) соблюдение требований экологической безопасности и охраны окружающей среды;
- е) ремонтпригодность применяемого оборудования и конструкций;
- ж) передовые методы эксплуатации, безопасные и удобные условия труда эксплуатационного персонала. Исходными данными для разработки данной работы являются:

- 1) исходные данные нагрузки потребителей подстанции 35/10 кВ.
- 2) категория потребителей по степени надежности электроснабжения.

Главной задачей строительства, технического перевооружения и реконструкции имеющихся электрических сетей и подстанций является: процесс производства, передачи и распределение электроэнергии; требуемая надёжность схемы сетей и энергосистемы в целом; требуемое качество электроэнергии; снижение ежегодных расходов и затрат при эксплуатации электрооборудования.

Для решения поставленных задач необходимо рассмотреть следующие этапы:

- проанализировать характер и мощность потребителей электроэнергии;
- на основе установленной мощности произвести выбор и проверить загрузку силовых трансформаторов;
- произвести расчеты токов электродинамической и термической стойкости, токов короткого замыкания на шинах 35 кВ и 10 кВ подстанции;
- согласно выполненным расчетам токов короткого замыкания и расчетным номинальным токам, и значениям напряжений выполнить выбор электрооборудования электрической части понизительной подстанции.

Объектом исследования является разработка системы электроснабжения понизительной подстанции переменного тока 35/10 кВ «Морец». Цель работы заключается в разработке системы электроснабжения, разработке оптимальной схемы подстанции, удовлетворяющей требованиям надежности, безопасности при эксплуатации, а также удовлетворяющая экономическим критериям затрат на строительство, выбор электрооборудования в соответствии с нормативными документами, удовлетворяющее номинальным данным.

Таким образом основной целью дипломной работы, является выполнение реконструкции подстанции для обеспечения надежного и безаварийного электроснабжения потребителей.

1 Общая часть

1.1 Анализ существующей системы электроснабжения

Подстанция «Морец» 35/10 кВ тупиковая, двух трансформаторная. Электроснабжение подстанции осуществляется по воздушной линии ВЛ-35 кВ. К шинам ПС 35 кВ подстанции подходит 2 линия 35 кВ, длиной 4,2 км выполненная проводом АС-120.

Для питания потребителей на стороне 10 кВ предназначены линии 10кВ.

Подстанция «Морец» 35/10 кВ предназначена для питания электрической энергией потребителей, подключенных по 3 категории по надежности электроснабжения согласно требований ПУЭ [9].

На подстанции «Морец» 35/10 кВ в настоящее время установлено следующее основное оборудование:

а) ОРУ-35 кВ выполнено по типовой схеме №35-4Н «Два блока с неавтоматической перемычкой на стороне линии» [14], для осуществления питания в ремонтных режимах силовых трансформаторов установлены секционные разъединители 35 кВ отключены по нормальной схеме. Существующая схема электроснабжения подстанции показана на рисунке 1;

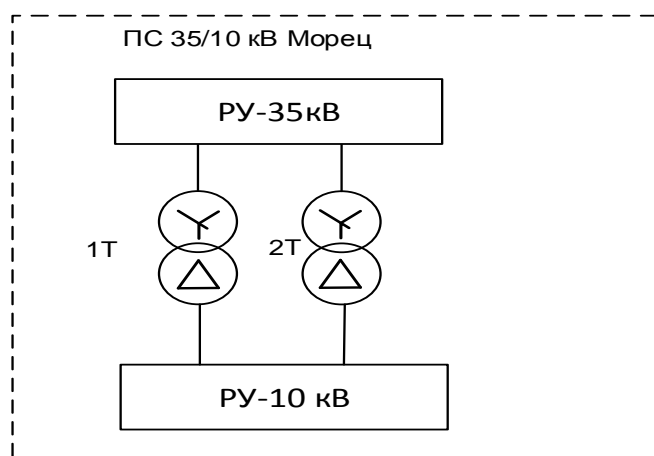


Рисунок 1 - Существующая схема электроснабжения подстанции

б) на ОРУ-35 кВ установлено следующее оборудование:

- 1) разъединители РЛНД- 35/630,
- 2) выключатели масляные С-35 УХЛ1,
- 3) разрядники перенапряжения РВС-35,
- 4) трансформатор напряжения ТМ-25/10.

в) КРУ - 10 кВ выполнен по типовой схеме №10-1 «Одна, секционированная выключателем система шин» [14]. В КРУ-10 кВ установлено следующее оборудование:

- 1) шкафы типа К-59,
- 2) выключатели масляные ВК-10/630,
- 3) трансформаторы тока ТОЛ-10,
- 4) разрядники перенапряжения РВС-10,
- 5) трансформаторы напряжения НАМИТ-10.

г) Силовые трансформаторы Т1, Т2 типа ТРДН-6300/35/10.

Реконструкция подстанции «Морец» обусловлена необходимостью подключения новых потребителей, для повышения надежности схемы электроснабжения потребителей. Необходимо произвести с заменой выключателей 35 и 10 кВ, замену разъединителей. Выбрать принципиальную схему подстанции, произвести расчет нагрузки и выбор трансформаторов. Выбор и проверка электрооборудования подстанции «Морец» на основе расчетных данных.

При разработке возможных вариантов построения электрической сети учтены требования предъявляемые к надежности электроснабжения отдельных потребителей электроэнергии. Категории электроприемников по степени надежности в зависимости от категории электроснабжения рассматриваются в проектной документации на проект электроснабжения на основании имеющихся исходных данных в соответствии с требованиями технической документации.

Для электроприемников 3-й категории надежностью электроснабжение возможно выполнять от одного источника электроэнергии исходя из того, что прекращение электроснабжения, необходимое для ремонта или замены неисправного оборудования, не занимают более 1 суток.

Электроприемники – 2-ой категории это электроприемники, прерывание электроснабжения которых создает угрозу для безопасности жизни и здоровья людей может быть чревато финансовыми затратами, остановкой технологического процесса, нарушение обеспечения работы особо важных потребителей бытовых хозяйств, объектов связи и телевидения.

Надежность электроснабжения потребителей 1-ой категории обеспечивается их запитывания от 2-х независимых, а также между собой резервирующих источников электроэнергии. К числу резервирующих источников электроэнергии могут относиться 2-е секции или системы секций шин одной или 2-х ПС при одновременном выполнении следующих условий:

- каждая одна секция а также система шин в том числе имеет запитанные от независимого источника;
- секции и системы не имеют связи или эта связь, автоматически отключающийся при коротком замыкании одной из секций (системы секций).

Прерывание их электроснабжения при неисправности электроснабжения от первого источников питания допускается только на время автоматического включения резервного питания.

Электроприемники 2-ой категории – это такие потребители, прерывание электроснабжения может приводить к большому недоотпуску выпускаемой продукции, глобальным простоем рабочих, а также промышленного автотранспорта, нарушению нормальной жизнедеятельности большого количества жителей городов и населенных пунктов.

Для электроприемников 2-ой категории при прекращении электроснабжения от одного из элементов питания допустим перебой электроснабжения на время, требуемое для включения запасного питания

действиями оперативно-дежурного работника или выездной бригады электромонтёров.

1.2 Расчет мощности нагрузки на шинах подстанции

Для определения токов нормального, послеаварийного и утяжеленного режима работы, а также при расчете мощности трехфазных трансформаторов производится подсчет общих нагрузок на подстанции.

Расчетные значения нагрузок – это те нагрузки, которые соответствуют такой неизменной токовой нагрузке (I_p), эквивалентной фактической изменяющейся по времени нагрузке и тепловому наибольшему действию, при этом, не превышая допусковых значений, на оборудование системы электроснабжения.

Зная мощность электрических нагрузок, выбирается нужная мощность силовых трехфазных трансформаторов, мощность и место подключения компенсирующих устройств в случае необходимости, выбираются и проверяются шинопроводы по условиям допустимого нагрева, производится расчет потерь и колебания напряжения, выбираются типы защит.

При подборе типа и мощности силового трансформатора необходимо принимать во внимание возможность краткосрочного превышения (до 40%) установленной мощности трансформатора в период осуществления режима работы, который отвечает предельным нагрузкам. Также при подборе силового трансформатора надо учитывать присоединенную мощность [3], [4].

В данном разделе произведен выбор силовых трансформаторов, их количество и мощности. Следует определить количество и мощность трансформаторов, основываясь на расчете нагрузки подстанции, включающей в себя конечные максимальные мощности всех абонентов, удельной плотности нагрузок.

Подстанция осуществляет питание потребителей по сети 10 кВ, это потребители 2 и 3 категории надежности электроснабжения. Из этого следует, что подстанция должна содержать два трехфазных трансформатора

Электрические нагрузки подстанций 35/10 кВ «Морец» приняты согласно исходных данных для проектирования.

1.3 Выбор трансформаторов

Выбор соответствующей мощности трансформаторов остается одной из основных и главных задач при реконструкции электроснабжения подстанций. Выбор и расчет силовых трансформаторов необходимо производить с требованием экономически обоснованного режима работы, а также с имеющейся возможностью необходимого резервирования электроснабжения электропотребителей в случае отключения одного трансформатора. Расчетная мощность силовых трансформаторов в аварийном и нормальном режиме работы необходима обеспечивать надежное электроснабжение всех подключенных потребителей электроэнергии.

Выбор количественного числа и типа, а также мощности, силовых трансформаторов ПС производят на основании расчетов и соответствующих технических обоснований, а также по графикам электрических нагрузок, суточным и годовым.

Для необходимого правильного выбора нормальной мощности трансформатора необходимо иметь и располагаться к суточным график, который отражает среднесуточную нагрузку заданной электроустановки, а также длительность продолжительности максимума нагрузки. Алгоритм выбора трансформатора следующий:

– определяется количество трансформаторов на ПС, из условия их обеспечения по надежности электроснабжения с учетом категории потребителей;

– выбираются все рассматриваемые варианты по номинальной мощности силовых трансформаторов, при этом учитывается допустимая мощность в нормальном режиме и перегрузки;

– решаем вопрос возможности развития и с учетом расширения подстанции и возможной установке для более больших трансформаторов.

Допустимая перегрузка трансформаторов возможна выше номинального значения тока до 40%, при условии, что общее время перегрузки не должно быть 6 часов в сутки, при этом не больше 15 суток последовательно, при чем коэффициент загрузки при работе в до аварийного режима не превышал бы 93% [5], [6].

Количество трансформаторов $n = 2$, при этом вероятность отказа обоих трансформаторов пренебрежительно мала.

Найдем полную мощность потребителей по формуле 1:

$$S_{max} = P / \cos \varphi \text{ МВА} \quad (1)$$

где S_{max} – максимальная полная мощность;

P – активная мощность

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности

$$S_{max} = 12,3 / 0,94 = 13,0 \text{ МВА}$$

Для расчета мощности, подключенной к трансформатору, собираются и анализируются данные о присоединенных мощностях потребителей.

Выбор номинальной мощности трансформатора выполняется с учетом допустимой перегрузочной мощности:

Для нормальной и надежной работы, на ПС устанавливают 2 трансформатора с номинальной мощностью из каждой, рассчитанной в значении от 60 % до 70 % максимальной нагрузки, т.к. при неисправности одного из них, оставшийся в работе должен обеспечить питание всех потребителей [7].

Найдем расчетную мощность трансформатора по формуле 2:

$$S_{\text{рас}} = 0,7 \cdot S_{\text{max}}, \text{ МВА} \quad (2)$$

где S_{max} – максимальная полная мощность;

$S_{\text{рас}}$ – расчётная мощность.

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_{\text{рас}} = 0,7 \cdot 13,0 = 9,1 \text{ МВА}$$

Из стандартного ряда мощностей выбираем трансформатор с мощностью:

$$S_{\text{ном}} = 10 \text{ МВА}$$

Коэффициент загрузки в нормальном режиме определяется по формуле 3:

$$K_{\text{ЗНР}} = \frac{S_{\text{max}}}{2 \cdot S_{\text{H}}} \quad (3)$$

где $K_{\text{ЗНР}}$ – коэффициент загрузки в нормальном режиме:

$$K_{\text{ЗНР}} = \frac{13,0}{2 \cdot 10} = 0,65$$

Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме определяется по формуле 4:

$$K_{\text{ЗП/АР}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{H}}} < 1,4 \quad (4)$$

где $K_{\text{ЗП/АР}}$ – коэффициент загрузки в послеаварийном режиме:

$$K_{3П/АР} = \frac{13,0}{10} = 1,3$$

Минимальное и максимальное число силовых трансформаторов определяют по формулам 5, 6:

$$N_{\min} = \frac{P_{\max}}{K_{3.Т} \cdot S_{\text{НОМ.Т}}} \quad (5)$$

$$N_{\max} = \frac{S_{\max}}{K_{3.Т} \cdot S_{\text{НОМ.Т}}} \quad (6)$$

где P_{\max} – расчетная активная нагрузка;

S_{\max} – расчетная полная нагрузка;

$S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность силового трансформатора.

$$N_{\min} = \frac{12,3}{0,65 \cdot 10} = 1,8$$

$$N_{\max} = \frac{13,0}{0,65 \cdot 10} = 2,0$$

Надежность электроснабжению потребителей обеспечивают при помощи установки на подстанции 2-х трансформаторов. Также необходимо учитывать, в послеаварийном режиме в случае отключения одного трансформатора, другой трансформатор должен обеспечивать необходимую нагрузку для всех потребителей. Покрытие всей необходимой мощности осуществляется в том числе и за счет их способности к перегрузкам для уменьшения расчетной мощности трансформаторов, т.к. полученные значения удовлетворяют требованиям эксплуатации, рассматриваем два трансформатора типа ТДТН-10000/35/10, основные технические параметры трансформатора сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Технические данные трансформатора

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$, МВА	Потери, кВт		Напряжение, кВ		U_k , %
		К.З.	Х.Х.	ВН	НН	
ТДН-10000/35	10	50	12	38,5	10,5	10,8

При проведении плановых ремонтов, а также в аварийном режиме, в случае отключения трансформатора, оставшийся в работе должен обеспечить надежное электроснабжение потребителей с учетом перегрузочной способности и номинальной мощности. Расчетные значения удовлетворяют требованиям, поэтому два трансформатора типа ТДН-10000/35/10 кВ соответствуют требованиям по перегрузочной способности. За счет установки на подстанции двух трансформаторов достигается требуемая надежность электроснабжения потребителей. За счет не полной загрузки имеется резерв мощности для подключения новых потребителей или увеличения мощности существующих.

1.4 Разработка структурной схемы подстанции

Функционирование структурной схемы выдачи электроэнергии подстанции такова: электроэнергия поступает от энергосистемы в открытое распределительное устройство высокого напряжения и через трансформатор поступает в закрытое распределительное устройство низкого напряжения и распределяется между потребителями. При разработке и рассмотрении различных вариантов структурных схем подстанций следует рассмотреть задачи:

- распределение мощности между РУ разного уровня напряжения;
- количество трансформаторов;
- принцип и состав электрической схемы и схемы обеспечения собственных нужд;

– оперативная возможность электрической схемы подстанции – определяется ее возможностью для создания требуемых режимов при эксплуатации и для проведения оперативных переключений;

– безопасность и удобство в эксплуатации.

Подстанция 35/10кВ состоит из:

– РУ ВН (распределительного устройства 35 кВ);

– трансформатора (одного или нескольких);

– РУ НН (распределительного устройства 10 кВ);

– дополнительных устройств – устройств релейной защиты, автоматики, измерения.

Распределительное устройство 35 кВ подстанции необходимо для приема электроэнергии от высоковольтной линии до трансформатора. Распределительное устройство 35 кВ, также может служить и для передачи электрической энергии по ВЛ для питания других подстанций.

Распределительные устройства низшего напряжения предназначены для приема и распределения электрической энергии потребителям. Распределительные устройства бывают комплектными (КРУ), открытыми (ОРУ) и закрытыми (ЗРУ).

Проектирование подстанций должно определяться действующей нормативной документацией. Рабочая документация на подстанцию требуется выполнять с учетом на 5 лет с момента включения и ввод ее в работу, при этом необходимо учитывать перспективы развития энергосистемы в будущем (не менее 5 лет). Рабочая документация на подстанцию выполняется на основании:

– схемы и системы развития электрических сетей и внешнего электроснабжения региона, города и промышленных потребителей;

– необходимой возможностью проведения и организации ремонта, а также оперативного обслуживания.

Структурная электрическая схема зависит от состава оборудования, количества трансформаторов, распределения нагрузки между

распределительными устройствами и связи между этими распределительными устройствами. Практика эксплуатации понижающих подстанций сетевых районов показывает техническую целесообразность применения подстанций с упрощенными схемами с ограниченным количеством коммутационных аппаратов на распределительных устройствах высшего, среднего и низшего напряжения. На электрических схемах должны указываться тип, уровни напряжения и мощность трансформаторов, вид подсоединения к питающей системе, количество и вид подключенных линий, величины напряжения на шинах высшей и низшей стороны распределительного устройства.

Выбор трансформаторов и типа подстанции выполняется с учетом вида и характером нагрузок потребителей, размещением нагрузок в соответствии с планом потребителей, с учетом расположения электрического оборудования, условий природных факторов, вида охлаждения, требования пожарной безопасности и электробезопасности с учетом типов применяемого электрооборудования.

Основные задачи, решаемые при исследовании, проектировании и эксплуатации подстанций относятся к оптимизации параметров с помощью правильного выбора уровня напряжений, расчете электрической мощности и нагрузок, а также требований к категоричности электроснабжения приемников; правильного выбора числа, типа и номинальной мощности трансформаторов, расположения электрических сетей, оборудования для компенсации реактивной мощности, оборудования для регулирования напряжения, средств выравнивания нагрузок и снижения электрических составляющих - гармоник в сетях при правильном построении схемы электроснабжения. Данные требования постоянно усложняются в связи с повышением электрической мощности, развития новых видов потребления электроэнергии, вновь вводимых технологических процессов.

Исходя из выбранной схемы сети, выделяют следующие виды понизительных подстанций по способу подключения к системе:

- тупиковые подстанции - подстанции, которые получают электроснабжение по одно цепной или двух цепной линии ЭП;
- ответвительные подстанции - подстанции, которые получают электроснабжение от одной или двух основных ПС исходя из того, что по этим линиям питаются и другие подстанций;
- проходные подстанции - подстанции, которые получают электроснабжение от 2-х других подстанций системы, «врезанные» в линию электропередач, питающую другие ПС;
- узловые подстанции - подстанции, данные ПС имеют прямую связь с как минимум с тремя и больше подстанциями системы.

На основании исходных данных составлена структурная схема подстанции 35/10 кВ.

На рисунке 2 изображена структурная схема ПС 35/10 кВ «Морец».

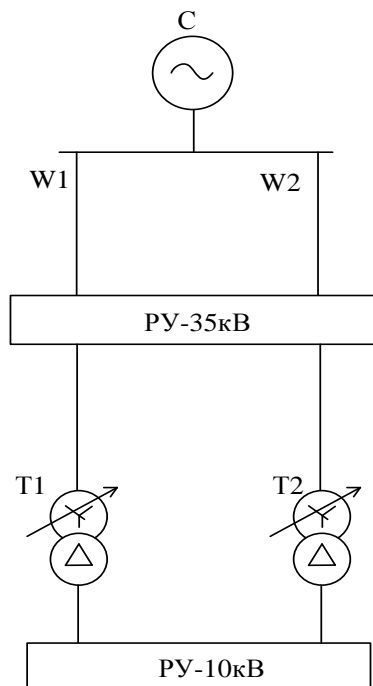


Рисунок 2 - Структурная схема ПС 35/10 кВ

Электрические понижающие подстанции запутывают потребителей электроэнергией. Бесперебойное, качественное и надежное

электрообеспечение возможно только обеспечением правильно выбранной электрической схеме подстанции. Главными требованиями, которые предъявляются к электрическим схемам, считаются: надежность; удобство обслуживания, а также удобства проведения регламентных работ; оперативная и ремонтная гибкость; экономичность.

Электрическая схема подстанции должна быть гибкой и давать вывод в ремонт оборудования или части установки с оборудованием для выполнения ремонтных и ревизионных работ, при этом должно быть обеспечиваться продолжительная работа питаемых потребителей, а также обеспечена надежность питания потребителей. Исходя из удобства эксплуатации создание ремонтных схем должно производиться при небольшом количестве действий коммутационными аппаратами.

Оперативно-ремонтная гибкость схемы может определяться возможностью электрической схемы постановка требуемых эксплуатационных режимов работы и выполнения оперативных переключений. Максимальная оперативная возможность схемы может достигаться, производством оперативных выводов оборудования устройствами автоматики.

Гибкость схемы — это способность разделения электроустановки на какие-то части, это часто практикуется для уменьшения токов короткого замыкания. Электрическая схема ПС должна иметь возможность для возможного расширения электроустановки.

При этом увеличение количества коммутационных аппаратов в схеме при одинаковом количестве выключателей приводит к увеличению затрат на строительство РУ.

Снижение количества установленных выключателей в электрических схемах на стороне ВН конечно приводит к значительной экономии, при этом может приводить к уменьшению надежности и оперативной гибкости схемы.

1.5 Разработка упрощенной принципиальной электрической схемы подстанции

Упрощенная электрическая схема ПС должна разрабатываться на основании составленной структурной схемы ПС в полном соответствии с рекомендациями, данными в [14], [15], [16].

Выбор электросхемы зависит от:

- номинального напряжения;
- количества присоединений;
- типа питающих линий;
- возможности для подключения к системе;
- выбранной мощности силовых трансформаторов.

Для РУ высокого напряжения 35 кВ проектируемой двух трансформаторной ПС, имеющей 2 питающие, два трансформатора, руководствуясь рекомендациями [16], принимается типовая схема №35-4Н «Два блока с неавтоматической перемычкой на стороне линии».

ОРУ ВН примем к установке блочного исполнения. Комплектные трансформаторные подстанции обладают рядом преимуществ:

- сокращение сроков разработки проекта (использование каталогов на типовые изделия);
- универсальность (возможность установки любого типа высоковольтного оборудования);
- сокращение сроков поставки (наличие разработанной конструктивной документации);
- сокращение сроков монтажа;
- уменьшение площади сооружений под строительство (сокращаются меж ячейковые расстояния, сокращается количество фундаментов).

Главная схема энергообъекта включает в себя совокупность главного электрооборудования, коммутационных приборов и электропроводящего

оборудования, и их частей, которая показывает соединения между собой этих аппаратов. Все элементы главной электрической схемы делятся на две части:

а) внешние соединения, в которые входят силовые трансформаторы, системы электропередачи, различные реакторы;

б) внутренние элементы, подразделяются делятся на:

1) схемобразующие, данные элементы составляют структуру схемы сюда входит выключатели и разъединители, отделители), токопроводящее оборудование - шины, ток провода, реакторы;

2) вспомогательные - это необходимые для создания нормальной работы вспомогательной схемы - трансформаторы тока и напряжения, ОПН и т.п.

Главные схемы электрических линий подстанции 35кВ и более должны удовлетворять следующим условиям:

– схема обеспечивает качественное электроснабжение электроприемников в соответствии с их требованиями в нормальном и ремонтном режимах, а также послеаварийном;

– схема по возможности должна быть простой, наглядной, гибкой в эксплуатации и иметь средства автоматики для восстановления питания в послеаварийный период без вмешательства обслуживающего персонала;

– схема необходима для обеспечения надежности и перетопка мощности через шины подстанции при всех возможных режимах ее работы.

На рисунке 3 изображена «Выбранная схема ОРУ-35 кВ № 35 - 4 Н «Два блока с неавтоматической перемычкой на стороне линий» [14], [15].

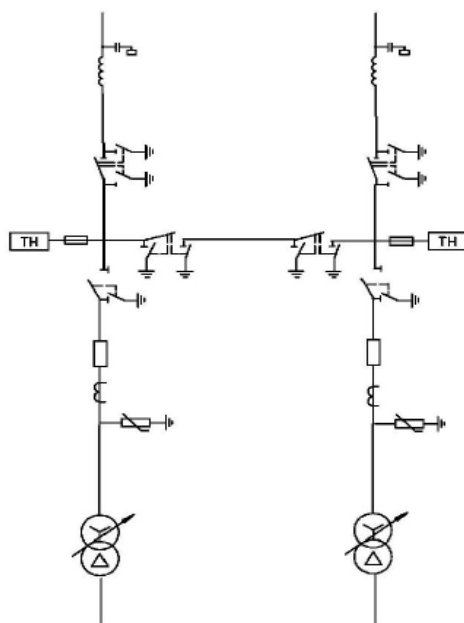


Рисунок 3 - Схема ОРУ-35 кВ № 35 - 4 Н «Два блока с неавтоматической перемычкой на стороне линий»

Для РУ напряжения 10 кВ проектируемой подстанции, имеющей отходящие линии 10 кВ, руководствуясь рекомендациями [16], принимается типовая схема № 10-1 «Одна одиночная, секционированная выключателем система шин» [14]. На стороне 10 кВ ведется раздельная работа трансформаторов в целях снижения значения токов КЗ. Распределительные схемы выполняются с ячейками КРУ с коммутационными аппаратами на вакантных тележках, для увеличения надежности схемы, и условия эксплуатации [11].

В секции шин подключаются отходящие линии питающий ввод от силового трансформатора, ТН и ТСН, секционный выключатель. В нормальном режиме работы выключатели отходящих линий включены, секционный выключатель в зависимости от режима работы - отключен.

Схема должна создать надежное электроснабжение электроприемников и с резервированием.

Схема наглядна, проста и удобна в обслуживании, экономична. Типовая схема РУ-10 кВ №10-1 «Одна секционированная выключателями система шин» показана на рисунке 4.

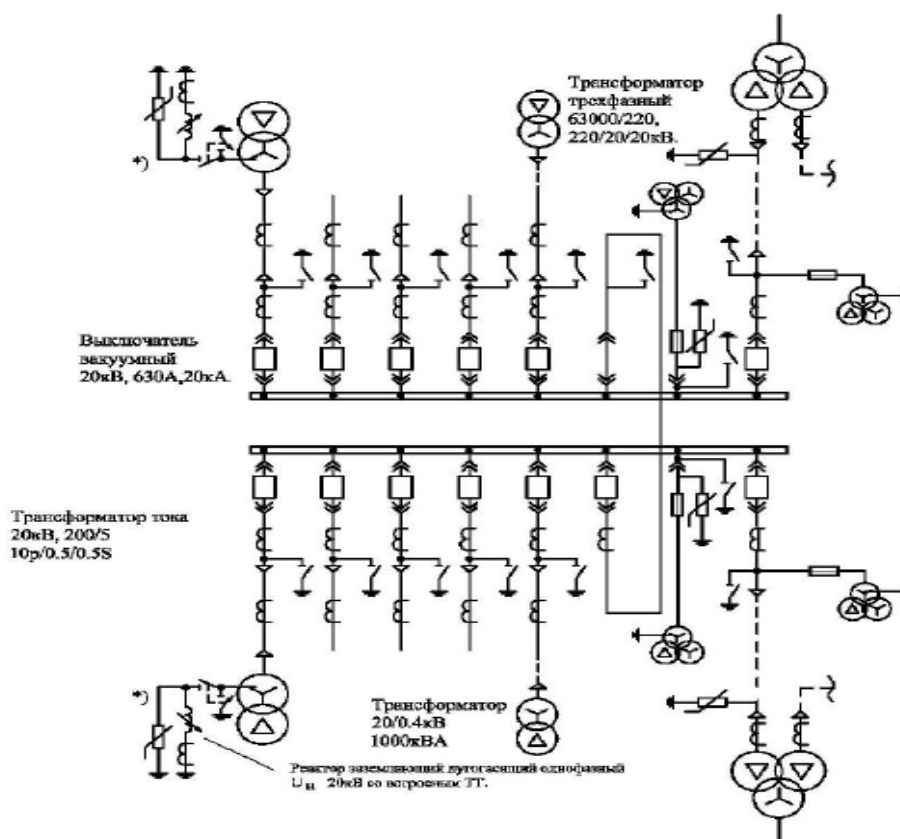


Рисунок 4 - Типовая схема РУ-10 кВ №10-1 «Одна секционированная выключателями система шин»

Выводы: в данном разделе произведен расчет и выбор трансформаторов исходя из данных по мощности потребителей, выбраны схемы электроустановок 35 и 10 кВ. Принятые решения соответствует требованиям нормативно-технической документации.

2 Расчетная часть

2.1 Расчет токов короткого замыкания

«Коротким замыканием называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землей, при котором токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима».

В электрических установках происходят короткие замыкания, которые "сопровождаются" резким скачком тока. В связи с этим оборудование, стоящее в схемах распределения электроэнергии, необходимо быть устойчиво к токам короткого "замыкания" и выбираться по расчетным значениям данных токов.

Виды короткого замыкания бывают [19]:

- 3-х фазное когда три фазы схлестываются между собой;
- 2-х фазное две фазы схлестываются между без замыкания на землю;
- 1 фазное - одна фаза схлестывается на землю;
- двойное замыкание на землю – 2-е фазы схлестываются между землей и собой.

Главными позициями возникновения таких КЗ в системе может быть: нарушение изоляции оборудования электроустановки, ошибочные и неправильные действия работников, перекрытие токопроводящих частей.

Короткое замыкание практически всегда происходит с прекращением электроснабжения потребителей в точках где произошло короткое замыкание, прекращением нормальной работы остальных потребителей, подключенных к данным и смежным участкам сети, в связи с понижением напряжения данных участков, а также режима работы энергетической системы.

Токи короткого замыкания производят опасность при воздействии на электрическое оборудование, главной значительной опасностью является ток 3-х фазного короткого замыкания, при прохождении, которого создается аварийный режим, поэтому они могут вызвать и локальный, или системный характер.

К данным действиям относятся реализация заданного комплекса релейных защит, и устройства противоаварийной, системной и режимной автоматики устанавливаемых в сети и на подстанциях, воздействующих для отключения повреждения на коммутационные аппараты.

Расчетные значения токов КЗ зависят в первую очередь от расчетной схемы и выбранных технических решений проектировщиком. Имея практический опыт, схемные значения утяжеляют, для выявления наиболее тяжелых условий и режимов работы системы. На выбранные значения влияют величины электрических сопротивлений в расчетных схемах замещения, которые в свою очередь зависят от имеющегося оборудования в системе, а также от выбранной схемы присоединения токопроводящих элементов. Данные ограничения накладывает завышенные требования к рассмотрению расчетных схем, требуемых для расчётов токов короткого замыкания.

Расчет производится в следующей последовательности.

На основании разработанной структурной схемы электроустановки, с тем, что выбранные схемы электрических схем и способа работы трансформаторов – отдельный или параллельный, рисуется расчетная схема установки. Для этого на схеме обозначаются требуемые для расчета 3-х фазного короткого замыкания места КЗ. После расчетной схемы электрических соединений, рисуется схема замещения, на которой наносятся активные сопротивления всех имеющихся элементов электрической схемы.

Рассчитываются значения всех элементов сопротивлений, отображенных на расчетной схеме и схеме замещений в принятых -

относительных или именованных единицах, потом они рисуются на схеме замещения.

Постепенным сворачиванием по отношению к намеченного для расчета места КЗ приводят схему замещения виду, где наиболее просто и наглядно отражается сопротивление цепи [20].

Проводимый расчет токов короткого замыкания требуется для правильного выбора электрооборудования, коммутационных аппаратов, проводов, и кабелей. Расчетные значения мощности нагрузки при рассмотрении токов короткого замыкания не берется в расчет.

Для расчета аппаратов и ток провода в качестве расчетных точек короткого замыкания выбираются: шины ВН или выводы трансформаторов ВН, сборные шины СН и НН. Расчетная схема, принятая при расчетах токов КЗ показана на рисунке 5.

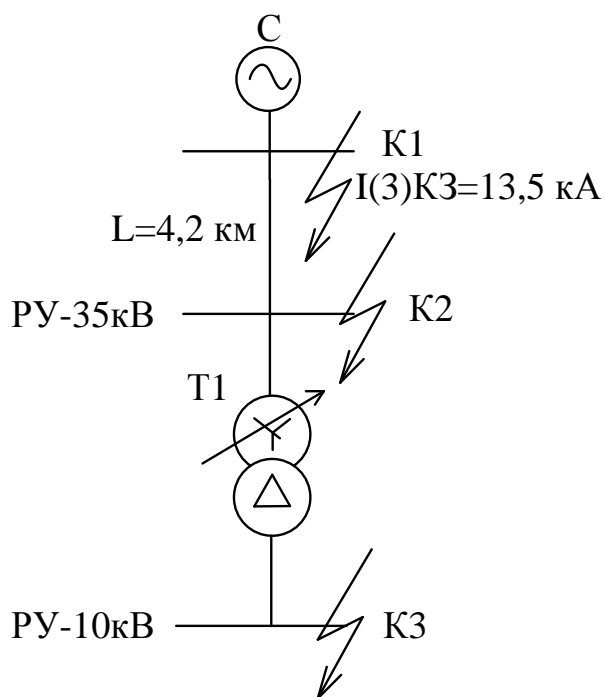


Рисунок 5 - Расчетная схема для расчетов токов КЗ на ПС

Составляется эквивалентная схема замещения прямой последовательности.

Для составления схема замещения определяем сопротивление всех элементов электрической цепи.

Расчет токов короткого замыкания ведём в относительных единицах.

Определяем сопротивление источника X_c , Ом по формуле 7:

$$X_c = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I}, \text{ Ом} \quad (7)$$

где U – напряжение сети, кВ;

I – ток короткого замыкания сети, кА.

$$X_c = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 13,5} = 1,5 \text{ Ом}$$

Определяем сопротивление воздушной линии X_l , Ом/км по формуле 8 [8]:

$$X_l = X_0 \cdot l, \text{ Ом} \quad (8)$$

где X_0 – индуктивное сопротивление 1 км. ВЛ, Ом/км;

$$X_0 = 0,4 \text{ Ом/км.}$$

l – длина ВЛ, км;

$$l = 4,2 \text{ км.}$$

$$X_l = 0,4 \cdot 4,2 = 1,68 \text{ Ом}$$

Ток КЗ на шинах ПС 35/10 кВ в точке К2 определяем по формуле 9:

$$I_{кз} (3) = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_l)}, \text{ кА} \quad (9)$$

$$I_{кз} (3) = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot (1,5 + 1,68)} = 6,36 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К2 определяем по формуле 10:

$$i_{уд} = k_y \cdot I_{кз} \cdot \sqrt{2} \text{ , кА} \quad (10)$$

где $k_y = 1,717$ – ударный коэффициент, использованный для упрощения расчетов [13].

$$i_{уд} = 1,717 \cdot 6,36 \cdot \sqrt{2} = 15,3 \text{ кА}$$

Апериодическая составляющая тока короткого замыкания определяем по формуле 11 [13]:

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{кз} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \text{ , кА} \quad (11)$$

где, T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей, для установок напряжением выше 1000 В величина $T_a = 0,02$ с.

$$i_{ат1} = \sqrt{2} \cdot 6,36 \cdot e^{-0,035/0,02} = 3,38 \text{ кА.}$$

Тепловой импульс тока короткого замыкания определяем по формуле 12:

$$W_k = I_{к1}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) \text{ , кА}^2 \cdot \text{с} \quad (12)$$

где $t_{откл}$ – время отключения тока короткого замыкания, с.

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей принимаем равным 0,02с.

Время отключения тока короткого замыкания определяем по формуле 13:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{откл.в}}, \text{ с} \quad (13)$$

где $t_{\text{откл.в}}$ – собственное время отключения выключателя, принимаем для 35кВ = 0,035с и 0,03с для 10 кВ соответственно.

$t_{\text{рз}}$ – время выдержки релейных защит, для 35 кВ $t_{\text{рз}} = 2$ с, для 10 кВ $t_{\text{рз}} = 1,5$ с

$$t_{\text{откл}} = 2 + 0,035 = 2,035 \text{ с}$$

$$B_{\text{к}} = 6,36^2 \cdot (2,035 + 0,02) = 83 \text{ кА}^2\text{с}$$

Сопrotивления обмоток трансформаторов ТДТН 10 000/35:

$$U_{\text{к}}, \% = 10,8$$

Определяем сопротивление трансформатора $X_{\text{тр}}$, Ом по формуле 14:

$$X_{\text{т}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}}, \text{ Ом} \quad (14)$$

где $S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, мВА;

$U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания, %.

$$X_{\text{т}} = \frac{10,8}{100} \cdot \frac{35^2}{10} = 12,2 \text{ Ом}$$

Строим схему замещения сети рисунок 6.

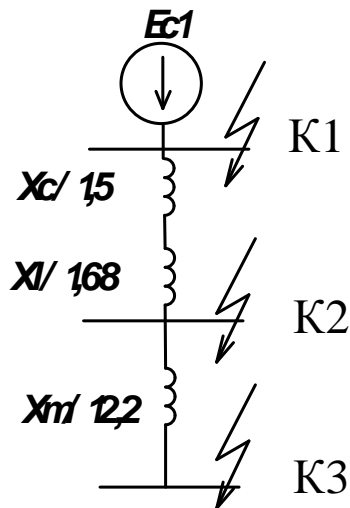


Рисунок 6 - Схема замещения сети

Расчет тока КЗ за трансформатором определяем по формуле 15:

$$I_{кз (3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_l + X_T)}, \text{кА} \quad (15)$$

Ток КЗ на стороне НН приведенный к ВН в точке КЗ.

$$I_{кз (3)} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot (1,5 + 1,68 + 12,2)} = 1,3 \text{ кА}$$

Переводим ток КЗ к стороне НН по формуле 16:

$$I_{кз (3)} = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} \cdot I_{ВН}, \text{кА} \quad (16)$$

$$I_{кз (3)} = \frac{35}{10,5} \cdot 1,3 = 4,3 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания в месте КЗ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,3 = 10,9 \text{ кА}$$

Апериодическая составляющая тока КЗ:

$$i_{ат1} = \sqrt{2} \cdot 4,3 \cdot e^{-\frac{0,035}{0,02}} = 2,7 \text{ кА}$$

Тепловой импульс тока короткого замыкания, кА²с:

$$t_{откл} = 1,5 + 0,015 = 1,515 \text{ с}$$

$$W_k = 4,3^2 \cdot (1,515 + 0,02) = 28 \text{ кА}^2\text{с}$$

Сводим результаты расчёта токов короткого замыкания в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные значения токов короткого замыкания

Точка короткого замыкания.	Значение тока короткого замыкания. кА	Значение ударного тока короткого замыкания. кА	Значение теплового импульса тока короткого замыкания кА ² с.	Значение апериодической составляющей тока короткого замыкания, кА
т.К2	6,36	15,3	83,0	3,38
т.К3	4,3	10,9	28,0	2,7

2.2 Выбор электрических аппаратов

В целях длительной надежной, безаварийной работой электрических аппаратов, кабелей и шинных конструкций, необходимо выполнять их выбор по условиям длительно допустимого рабочего режима в том числе и утяжеленного, а также проверкой по режиму короткого замыкания [9]».

Все электрическое оборудование, коммутационные аппараты и токопроводящие элементы обязаны сохранять заявленное изготовителем качество, выполняя при этом заданные режимы работы в том числе, при протекании через них токов короткого замыкания, исходя из чего рассчитанные электропроводники и электрические аппараты требуется проверить на термическую и электродинамическую стойкость к КЗ.

Термическая стойкость оборудования, характеризуется отсутствием нагрева выше возможной допустимой температуры при протекании тока КЗ.

Выбор электроаппаратов и электропроводного выполняется по следующим условиям и по формулам 17, 18:

- номинальному напряжению $U_{уст.} = U_{вн}$,
- рабочим ток утяжеленного режима $I_{max} \leq I_{ном.вык}$,

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А} \quad (17)$$

- отключающей способности $I_k \leq I_{откл}$,
- электродинамической стойкости $i_y \leq i_{дин}$,
- термической стойкости:

$$W_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (18)$$

2.2.1 Выбор высоковольтных выключателей 35 кВ

Выбираем элегазовый выключатель типа ВГБ-35-12,5/630 УХЛ1 с встроенными трансформаторами тока [3]. Выключатель имеет встроенные трансформаторов тока, позволяющих отказаться от применения выносных трансформаторов тока наружной установки.

«Выключатель имеет следующие параметры [3]»:

- номинальное напряжение $U_{ном}$ - 35 кВ;
- номинальный ток $I_{ном}$ - 630А;

- номинальный ток отключения $I_{ном.откл}$ - 12,5 кА;
- ток термической стойкости I_T - 20 кА;
- полное время отключения $t_{пв.откл}$ - 0,035 с.

Выключатели ВГБ -35 предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах, а также работы в циклах АПВ в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением 110 кВ.

Дистанционное оперирование выключателем производится приводом электромагнитного типа, с соленоидом включения и различными исполнениями по напряжению питания катушек привода. Выключатель обеспечивает отключение номинальных токов нагрузки при утечки избыточного давления элегаза в баке [2]».

Выбор производим по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_{ном},$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ},$$

- по максимальному рабочему току:

$$I_{маx,A} \leq I_{ном,A},$$

$$231 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

Максимальный ток определяется по мощности трансформатора:

$$I_{маx} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 231 \text{ А}$$

- по отключающей способности:

$$I_K \leq I_{откл}$$

$$6,36 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА}$$

Выключатель подходит по отключающей способности.

– на электродинамическую стойкость:

$$i_y \leq i_{\text{дин}}$$

$$15,3 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}$$

– на термическую стойкость:

$$W_{\text{ктех}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$83 \text{ кА} \leq 1200 \text{ кА}$$

Результаты выбора сведем в таблицу 3.

Таблица 3 - Выбор выключателей 35 кВ

Расчетные данные:	Технические данные выключателя ВГБ-35-12,5/630 УХЛ1
$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{мах}} = 231$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{кз}} = 6,36 \text{ кА}$	$I_{\text{ном. откл}} = 12,5 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 15,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$
$W_{\text{красч}} = 83 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{\text{красч}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Выключатель ВГБ-35-12,5/630 соответствует требуемым параметрам.

2.2.2 Выбор разъединителей 35 кВ

Разъединители используются для получения видимого разрыва в электроустановке при операциях переключений электрооборудования. Разъединители должны включаться и отключаются без нагрузки, операции могут производиться под напряжением.

«Для разъединителей устанавливаются следующие требования: выполнение визуального разрыва; выполнение требований по электродинамической и термической стойкости при прохождении токов короткого замыкания; отсутствие самовольных переключений; надежное включение и отключение в различных погодных условиях, при обледенении, снеге и ветре; требуемая механическая прочность».

«Разъединители рассчитывают таким же, образом, как и высоковольтные выключатели, при этом не выполняя проверку на отключающую способность. Выбираем разъединитель типа РГ-35/1000-УХЛ1 с комплектом ЗН [18]»:

- номинальное напряжение $U_{ном} = 35$ кВ,
- номинальный ток $I_{ном} = 1000$ А,
- ток термической стойкости $I_t = 20$ кА,
- ток динамической стойкости $I_d = 40$ кА,

Выбор производим по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_{ном},$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ},$$

- по максимальному рабочему току:

$$I_{max} \leq I_{ном},$$

$$231 \text{ А} \leq 630 \text{ А},$$

- на электродинамическую стойкость:

$$i_y \leq i_{дин},$$

$$15,3 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

– на термическую стойкость:

$$W_{\text{ктех}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$83 \text{ кА} \leq 1200 \text{ кА}.$$

Результаты выбора сведем в таблицу 4.

Таблица 4 - Выбор разъединителей 35 кВ

Расчетные данные	Технические данные разъединителя РГ-35/1000-УХЛ1
$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{мах}} = 231 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 15,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 40 \text{ кА} \cdot$
$W_{\text{красч}} = 83 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$W_{\text{красч}} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Разъединитель РГ-35/1000-УХЛ1 соответствует требуемым параметрам.

2.2.3 Выбор трансформаторов тока 35 кВ

Выбор трансформаторов тока основывается на сравнении характеристик на соответствии с номинальными и расчетными, номинальными токами первичным и вторичным, по требуемому значению класса точности, а также проверкой на термическую стойкость и электродинамическую стойкость при КЗ, при этом, значение номинального первичного тока выбирается расчетными параметрами основного оборудования, в том числе и его способностью к перегрузке.

Трансформаторы тока типа ТВ-35-0,5S/10P/10P, 300-200-100/5А встроенные в выключатель ВГБ-35.

Выбираем коэффициент трансформации ТТ 300/5.

Мощность ТТ- 30 ВА. Класс точности 0,5.

Для обеспечения заявленного класса точности трансформаторов необходима проверка по имеющейся нагрузке вторичных цепей Z_2 , которая не должна быть выше заявленной на данном классе точности нагрузки $Z_{2ном}$ и определяется по формуле 19:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}.$$

$$Z_2 = \frac{S_2}{I_2^2} = \frac{30}{5^2} = 1,2, \text{ Ом} \quad (19)$$

Нагрузка вторичных цепей r_2 состоит из сопротивлений измерительных и учетных приборов $r_{приб}$, соединяющих их проводов $r_{пр}$, в которых также учитываются значения переходного сопротивления контактов r_k и определяется по формуле 20:

$$r_2 = r_{приб} + r_{пр} + r_k = 0,26 + 0,49 + 0,05 = 0,83, \text{ Ом} \quad (20)$$

Сопротивление приборов рассчитывается по формуле 21:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_{2ном}^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26, \text{ Ом} \quad (21)$$

где, $S_{приб}$ – мощность, потребляемая измерительными приборами;

$I_{2ном}$ – номинальный вторичный ток измерительного прибора.

Сопротивление контактов принимаем при более двух приборах 0,1 Ом. Сопротивление зависит от их длины, материала и сечения. Для того чтобы

трансформатор тока мог работать в требуемом заданном классе точности, требуется выполнить следующее условие согласно формуле 22:

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}}, \text{ Ом} \quad (22)$$

Приняв $r_2 = Z_{2\text{ном}}$, определяют $r_{\text{пр}}$ по формуле 23:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,26 - 0,05 = 0,89, \text{ Ом} \quad (23)$$

$$S_2 = 0,89 \cdot 5^2 = 22,5, \text{ ВА}$$

$$22,5 \text{ ВА} \leq 30 \text{ ВА}$$

Зная $r_{\text{пр}}$, можно определить сечение соединительных проводов по формуле 24:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 103,8}{0,89} = 2,04, \text{ мм}^2 \quad (24)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода. Провода с медными жилами ($\rho = 0,0175$);

$l_{\text{расч}}$ – расчётная длина соединительного кабеля, которая учитывает схемы включения приборов и трансформаторов тока.

Длина цепей РУ 35кВ – может быть до 70 м, а сечения соединяющих проводов по требованию механической прочности не должно быть меньше 2,5 мм² для медных жил и определяется по формуле 25:

$$l_{\text{р}} = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 60 = 103,8 \text{ м} \quad (25)$$

Расчетная длина провода, зависящая от схемы присоединения приборов в неполную звезду к обмоткам трансформатора. По условию механической прочности принимаем медный контрольный кабель КВВГ 4*2,5 мм² с жилами сечением 2,5 мм². Данный по приборам вносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Нагрузка трансформаторов тока 35 кВ

Наименование прибора.	Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА.		
		фаза А.	фаза В.	фаза С.
Амперметр	Ц42703	0,5	-	-
Ваттметр	ЩВ02.1	5	-	5
Счетчик энергии	Меркурий	1,0	-	1,0
ИТОГО		6,5		6,0

Трансформатор тока ТВ-35-200/5 соответствует требуемым параметрам.

2.2.4 Выбор высоковольтных выключателей 10 кВ

Выбираем выключатель ВВ/TEL-10/20-1000 УХЛ1 имеющий следующие параметры [12].

- номинальное напряжение $U_{ном}$ - 10кВ,
- номинальный ток $I_{ном}$ -1000А,
- номинальный ток отключения $I_{ном.откл}$ - 20кА,
- ток термической стойкости I_t - 20кА,
- ток динамической стойкости I_d - 50кА,
- полное время отключения $t_{пв.откл}$ - 0,03с.

Вакуумный выключатель ВВ/TEL предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах работы в сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением до 10 кВ [12].

Выбор производим по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению:

$$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}},$$
$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

- по максимальному рабочему току:

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}},$$
$$771 \text{ А} \leq 2000 \text{ А}.$$

Максимальный рабочий ток определяется мощностью трансформатора:

$$I_{\text{раб.мах}} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 771, \text{ А}.$$

- по отключающей способности:

$$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$$
$$4,3, \text{ кА} \leq 20, \text{ кА}$$

- на электродинамическую стойкость:

$$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$$
$$10,9, \text{ кА} \leq 50, \text{ кА}$$

- на термическую стойкость:

$$B_{\text{ктех}} = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2, \text{ с}$$
$$28, \text{ кА} \leq 7500, \text{ кА}$$

Результаты выбора сведем в таблицу 6.

Таблица 6 - Выбор выключателей 10 кВ

Расчетные данные	Технические данные выключателя ВВ/TEL-10/20-1000 УХЛ1
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет} = 10 \text{ кВ}$
$I_{мах} = 771 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{кз} = 4,3 \text{ кА}$	$I_{ном.откл} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 10,9 \text{ кА}$	$i_{дин} = 50 \text{ кА}$
$W_{красч} = 28 \text{ к А}^2 \text{ с}$	$W_{красч} = 7500 \text{ к А}^2 \text{ с}$

Выключатель ВВ/TEL-10/20-1000 УХЛ1 удовлетворяет всем расчетным условиям.

2.2.5 Выбор трансформаторов тока и напряжения 10 кВ

Трансформаторы тока выбираются в соответствии с номинальным напряжением, первичным и вторичным токами, классу точности и проверке на термическую и электродинамическую стойкость при КЗ, номинальный первичный ток выбирается с учётом параметров основного оборудования, его перегрузочной способности [17].

Трансформатор тока 10 кВ.

Выбираем трансформатор тока ТПОЛ-10-400/5 с параметрами:

- номинальное напряжение $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$,
- номинальный первичный ток $I_{ном} = 1000 \text{ А}$,
- номинальный вторичный ток $I_{ном} = 5 \text{ А}$,
- ток термической стойкости $I_t = 20 \text{ кА}$,
- ток динамической стойкости $I_d = 50 \text{ кА}$.

Выбор производим по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_{ном},$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ},$$

– по максимальному току:

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}},$$
$$771 \text{ A} \leq 1000 \text{ A},$$

– на электродинамическую стойкость:

$$i_y \leq i_{\text{дин}},$$
$$10,9 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА},$$

– на термическую стойкость:

$$W_{\text{ктех}} = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2\text{с},$$
$$28 \text{ кА}^2\text{с} \leq 7500 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Результаты выбора сведем в таблицу 7.

Таблица 7 - Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Расчетные данные:	Технические данные трансформатора тока ТОЛ-10-1000/5
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 771 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 10,9 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$W_{\text{красч}} = 28 \text{ к А}^2\text{с}$	$W_{\text{красч}} = 7500 \text{ к А}^2\text{с}$

Трансформатор напряжения необходим для подключения измерительных приборов, контроля напряжения и изоляции сети, в системах с малыми токами замыкания на землю.

Выбираем ЗНОЛ-10 кВ [10]. Перечень необходимых измерительных приборов выбираем по ПУЭ [1] вносим в таблицу 8.

Таблица 8 - Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

Приборы	Тип	$S_{\text{обм}}, \text{ВА}$	Число обмоток	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Число приборов.	Общая потребляемая мощность.		
							$S, \text{Вт}$	$Q, \text{вар}$	
Ввод 10 от трансформатора									
Вольтметр	Э-335	2,0	1	1	0	2	4,0	-	
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3,0	-	
Счетчик электроэнергии	Меркурий 230 ART	2,0	2	0,88	0,925	1	2,2	1,8	
Отходящие линии 10 кВ									
Счетчик активной и реактивной энергии	Меркурий 230 ART	2,0	2	0,88	0,925	8	18	14,8	
Итого								27,2	16,6

Полную мощность трансформатора напряжения определим по формуле 26:

$$S_2 = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}, \text{ВА} \quad (26)$$

$$S_2 = \sqrt{27,2^2 + 16,6^2} = 31,8, \text{ВА}$$

$$S_2 = 31,8, \text{ВА} < S_{\text{ном}} = 200, \text{ВА}$$

Для подключения трансформаторов напряжения к приборам, берем контрольный кабель КВВГ и применяем сечение медных жил 2,5 мм² по требованиям механической прочности [3].

2.2.6 Выбор трансформаторов собственных нужд подстанции

В соответствии с «Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» на всех подстанциях устанавливаются не менее двух трансформаторов собственных нужд, мощность трансформаторов собственных нужд должна быть не более 630 кВА [14]. На подстанциях предусматривается установка трансформаторов собственных нужд на открытом воздухе, поэтому применяются трансформаторы с масляным охлаждением.

Собственные нужды – это важнейший элемент схемы подстанций. Неисправность в системе собственных нужд могут привести к большим проблемам в нарушении работы основного оборудования и развитию аварий.

Основными и главными потребителями в собственных нуждах подстанций есть оперативные цепи релейной защиты, сети питания связи и телеавтоматики, устройства обдува трансформаторов, система покушения пожара, потребители компрессорной станции, аварийный свет.

Обычно мощность приемников собственных нужд незначительна, поэтому они подключаются к сети 0,4-0,22 кВ, которая запитана от понизительных трансформаторов.

Потребителями собственных нужд подстанции являются:

- устройства обогрева баков и приводов, установленных на ОРУ коммутационных аппаратов;
- устройства отопления и кондиционирования воздуха;
- зарядно-подзарядные и выпрямительные агрегаты;
- свет в зданиях электроустановок и т.п.

Мощность потребителей собственных нужд варьируется от 50-300кВт, поэтому они питаются от сети 0,4-0,22 кВ.

Для питания потребителей собственных нужд устанавливаются 2 трансформатора собственных нужд, а мощность этих трансформаторов исходя из нагрузки с учетом возможной перегрузки в случае аварии и ли ремонте другого трансформатора.

Выполним необходимый расчёт номинальной мощности трансформаторов собственных нужд, для чего занесем в таблицу 9 значения мощности потребителей СН, при этом учитываем двигательную нагрузку с $\cos\varphi = 0,85$, для остальных потребителей $\cos\varphi = 1$.

Таблица 9 - Мощности потребителей собственных нужд подстанции

Потребитель	Установленная Мощность.			$\cos\varphi$	tgφ,	Нагрузка.	
	P, кВт	Кол-во	Всего, кВт			S уст, кВА.	Qуст, кВт.
Охлаждение ТДТН-10000/35/10	1,0	8	8	0,85	0,62	8	4,9
Подогрев выключателей 35кВ	2,0	2	4	1	-	4,0	-
Отопление, освещение, вентиляция РУ-10 кВ.	10	1	10	1	-	10	-
Освещение ОРУ-35	-	-	2	1	-	2	-
Подогрев приводов разъединителей.	0,5	6	3,0	1	-	3,0	-
Мощность потребления оперативного тока	20	1	20	1	-	20	-
Итого						47	4,9

Расчитанная мощность нагрузки собственных нужд ПС (формула 27):

$$S_{\text{расч}} = k_c \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2}, \text{ кВА} \quad (27)$$

где k_c – коэффициент спроса, учитывающий загрузку. В предварительных расчетах выбираем 0,8.

$$S_{\text{расч}} = 0,8 \cdot \sqrt{47^2 + 4,9^2} = 47,2, \text{ кВА.}$$

Номинальную мощность ТСН выбираем исходя из: $S_{\text{т}} \geq S_{\text{расч}}$.

Выбор необходимой номинальной мощности трансформатора выполним с учетом его возможной перегрузочной способности и определяем по формуле 28:

$$S_{\text{ном. тр}} \geq S_{\text{тр. расч}}, \quad (28)$$

где, $S_{\text{ном. тр}}$ – номинальная мощность трансформатора;

$S_{\text{тр. расч}}$ – расчетная мощность трансформатора.

Выбираем два трансформатора собственных нужд марки ТСЛ-63/10 У1.

Для защиты ТСН от короткого замыкания и перегрузок выбираем предохранитель ПКТ 101–10–10–31,5 У1.

Выбранная исходя из расчетов, мощность ТСН = 63 кВА, ТСН располагают на открытом воздухе в распределительном устройстве. Для подключения ТСН устанавливаются специальные ячейки имеющие предохранители. На секции шин 0,4 кВ выполняется одиночная, секционирующая автоматом система шин [14]. Как правило секционирующий автомат в нормальном режиме отключен.

Схема собственных нужд ПС показана на рисунке 7.

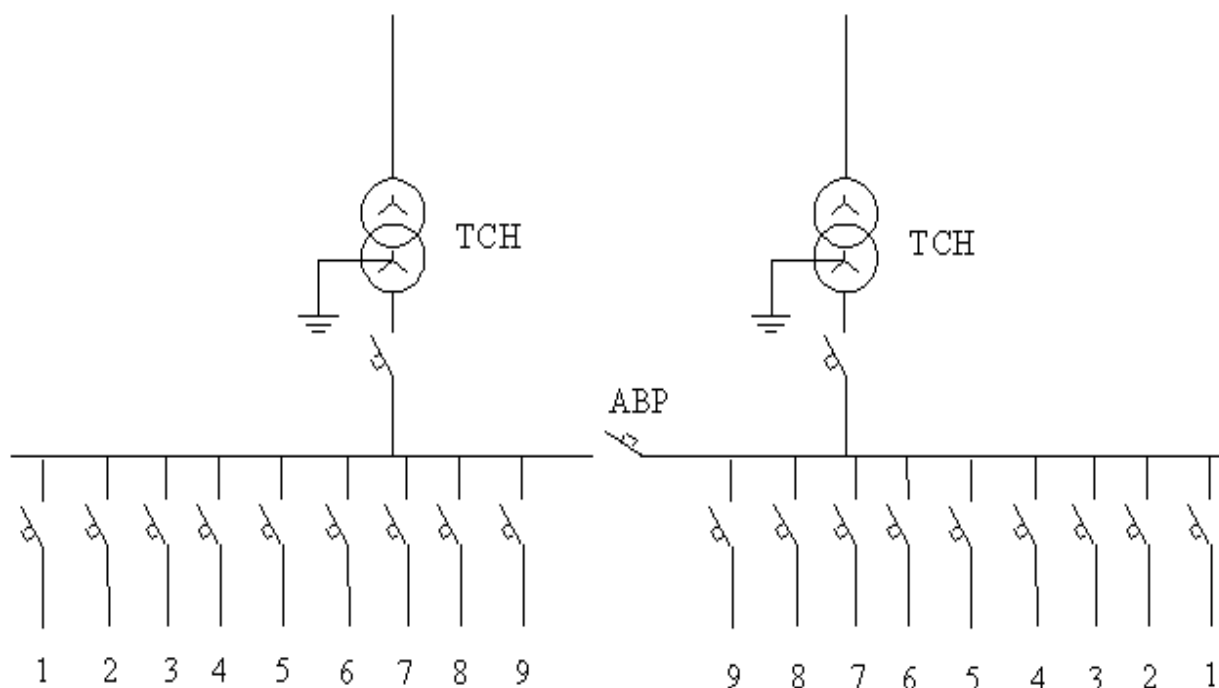


Рисунок 7 - Схема собственных ПС

Технические номинальные данные трансформатора ТСЛ-63/10 указаны в таблице 10.

Таблица 10 - Технические номинальные данные трансформатора ТСЛ-63/10/0,4 кВ

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН		ХХ	К.З		
ТСЛ-63/10	63	10	0,4	Y/Y-0	0,19	0,8 8	4,5	3,0

Выводы: В данном разделе произведен расчет токов КЗ и выбор электрического оборудования и коммутационных аппаратов, трансформаторов собственных нужд подстанции. Выбранное оборудование соответствует расчетным значениям токов КЗ и требованиям нормативно-технической документации.

3 Охрана труда и электробезопасность

3.1 Организация работы по охране труда на предприятии

Организация работы по охране труда на предприятии организована в соответствии с «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок».

Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок распространяются на работодателей - юридических и физических лиц независимо от их организационно-правовых форм и работников из числа электротехнического, электротехнологического и не электротехнического персонала организаций, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения, а также осуществляющих управление технологическими режимами работы объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей.

Электроустановки должны быть укомплектованы испытанными, готовыми к использованию защитными средствами и изделиями медицинского назначения для оказания первой помощи работникам в соответствии с действующими правилами и нормами.

В организациях должен осуществляться контроль за соблюдением Правил, требований инструкций по охране труда, контроль за проведением инструктажей. Ответственность за состояние охраны труда в организации несет работодатель, который вправе передать свои права и функции по этому вопросу руководящему работнику организации, наделенному в установленном порядке административными функциями (главный инженер, вице-президент, технический директор, заместитель директора), руководителю филиала, руководителю представительства организации (далее - обособленное подразделение) распорядительным документом.

Требования охраны труда при производстве работ составлены на основании:

- «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;
- «Правил работы с инструментом и приспособлениями»;
- «Правил работ с персоналом в организациях электроэнергетики».

Руководитель структурного подразделения обеспечивает работников средствами защиты и организывает изучение ими настоящей инструкции по охране труда.

Каждый работник обязан:

- уметь применять и оказывать скорую медицинскую помощь пострадавшим при возникновении несчастных случаев на предприятии;
- соблюдать требования настоящей инструкции по охране труда;
- немедленно сообщать своему непосредственному руководителю, а при его отсутствии - вышестоящему руководителю о произошедшем несчастном случае и обо всех замеченных им нарушениях инструкции по охране труда, а также о неисправностях сооружений, оборудования и защитных устройств;
- содержать в чистоте и порядке рабочее место и оборудование;
- обеспечивать на своем рабочем месте сохранность средств защиты, инструмента, приспособлений, средств пожаротушения и документации по охране труда.
- соблюдать требования по личной гигиене, которые должен знать и соблюдать работающий при выполнении работы.

За нарушение требований инструкции по охране труда работник несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Каждый работник должен знать местонахождение аптечки и уметь ею пользоваться.

При обнаружении неисправных приспособлений, инструмента и средств защиты работник должен сообщить об этом своему непосредственному руководителю.

Не допускается работа с неисправными приспособлениями, инструментом и средствами защиты.

Во избежание попадания под действие электрического тока не следует прикасаться к оборванным свешивающимся проводам или наступать на них.

В электроустановках не допускается приближение людей, механизмов и грузоподъемных машин к находящимся под напряжением не огражденным токоведущим частям на расстояния, менее указанных в таблице 11.

Таблица 11 - Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряжение		Расстояние от людей и при меняемых ими инструментов и Приспособлений от временных ограждений	Расстояние от механизмов и грузоподъёмных машин в рабочем и транспортном положении
до 1 кВ	На ВЛ	0,6 м	1,0 м
	В остальных электроустановках	Не нормируется (без прикосновения)	1,0 м
1 – 35 кВ		0,6 м	1,0 м
110 кВ		1,0 м	1,5 м
150 кВ		1,5 м	2,0 м
220 кВ		2,0 м	2,5 м

Для защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов необходимо применять соответствующие средства защиты, для защиты от действия электрического тока следует применять электрозщитные средства: диэлектрические перчатки, галоши, коврики,

подставки, накладки, колпаки, переносные заземляющие устройства, указатели напряжения, ручной изолирующий инструмент, плакаты и знаки безопасности.

Работник должен работать в комплекте спецодежды для защиты от воздействия электрической дуги, применять другие средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами, а также в зависимости от характера выполняемых работ.

Работник должен работать инструментом, изготовленным в соответствии с государственным стандартом, с однослойной и многослойной разноцветной изоляцией.

Изолирующее покрытие должно быть не снимаемым и выполнено из прочного, нехрупкого, влагостойкого и маслобензостойкого негорючего изоляционного материала.

Каждый слой многослойного изоляционного покрытия должен иметь свою окраску.

С рабочего места должно быть убрано все, что может помешать работе.

Положение инструмента на рабочем месте должно исключать возможность его скатывания или падения. Нельзя работать на скользком полу, необходимо принять меры, чтобы исключить скольжение.

Следует помнить, что после исчезновения напряжения с электроустановки оно может быть подано вновь без предупреждения. Применять устойчивые деревянные подставки или испытанные и исправные стремянки.

Применять испытанный исправный электрифицированный инструмент с надежной изоляцией, соответствующей вилкой и выключателем на корпусе. Перед применением действие инструмента и выключателя опробовать на холостом ходу.

Инструмент и приспособления должны быть своевременно испытаны, приборы и испытательные установки - поверены.

В соответствии с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, инструкциями и действующим законодательством работник несет административную, дисциплинарную, уголовную и материальную ответственность за своевременное и качественное выполнение порученной работы, соблюдение выполнения техники безопасности, «правил технической эксплуатации», «правил пожарной безопасности», «правил внутреннего трудового распорядка», трудовой и производственной дисциплины, а также за сохранность полученных для работы приборов, инструментов, оборудования. При выполнении обязанностей производителя работ работник несет ответственность за действия находящегося в его распоряжении персонала.

Выводы: в данном разделе рассмотрены вопросы охраны труда и электробезопасности при производстве работ в электроустановках, а также требования к персоналу, допущенному к работам на электрооборудовании.

Заключение

В выпускной квалификационной работе были выполнены поставленные задачи и цели по разработке системы электроснабжения ПС 35/10 кВ «Морец».

В работе выполнено следующее:

- расчет электрических нагрузок на основании которых произведен выбор числа, мощности и типа силовых трансформаторов 35/10 кВ, а также выбор оптимальной электрической схемы электроустановок с учетом категории надежности электроснабжения потребителей;

- произведен расчет токов короткого замыкания, на основании результатов расчета осуществлен выбор высоковольтной аппаратуры - коммутационного оборудования и измерительных трансформаторов тока и напряжения подстанции. Произведена проверка выбранного оборудования по токам нагрузки и токам короткого замыкания.

- произведен выбор мощности трансформаторов собственных нужд и схемы питания собственных нужд подстанции.

Разработанная система электроснабжения и выбранные технические решения удовлетворяют действующим требованиям нормативных документов, обеспечивает надежность, удобство и безопасность обслуживания, пожаробезопасность, возможность расширения, подстанция позволяет обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей в ремонтных и аварийных режимах работы.

В результате разработана система электроснабжения подстанции 35/10 кВ «Морец» соответствующая всем современным требованиям.

В ходе разработки системы электроснабжения подстанции существенно повысилась надежность оборудования и снижены потери электрической энергии.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование.: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2015. – 48 с.
2. Вакуумные выключатели 6-20 кВ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http:// https://www.tavrida.com/ter/support/documents/1](http://https://www.tavrida.com/ter/support/documents/1) (дата обращения 22.05.2021).
3. Киреева Э.А. Электрооборудование электрических станций, сетей и систем (СПО) / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2019. – 48 с.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учебник / Е.А. Конюхова. - М.: Академия, 2016. – 352 с.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, М.Г. Ошурков. – Рн/Д: Феникс, 2017. – 416 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2016. – 412с.
7. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие / Г.Н. Ополева. – М.: Форум, 2018. – 350 с.
8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей «Российской Федерации». Приказ Минэнерго России от 19.06.2003 № 229. – 245 с.
9. Правила устройства электроустановок «ПУЭ»: (Издание седьмое) Приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. – 330 с.
10. Разъединители горизонтально-поворотного типа 35 кВ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.zeto.ru/> (дата обращения 26.05.2021).
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М.: ИЦ Академия, 2016. – 448 с.

12. Силовое оборудование. АО "Уралэлектротяжмаш" [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.uetm.ru/>. (дата обращения 24.05.2021).
13. Справочник по проектированию линий электропередачи/ Под редакцией Д.Л. Файбисовича. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС 2006. – 376 с.
14. СТО-56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». – 132 с.
15. СТО-56947007- 29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. – 135 с.
16. СТО-56947007-29.240.30.047-2010 «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». – 132 с.
17. Трансформаторы сухие с литой изоляцией [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://cheb-transformator.com/catalog/tls40> (дата обращения 01.06.2021).
18. Трансформаторы тока и напряжения 6-35 кВ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://energybase.ru> (дата обращения 25.05.2021).
19. Электротехнический справочник. Том 3, книга 1. М: Энергоатомиздат. 2012г. - 878 с.
20. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией. Под редакцией Ю.И. Вишневого. Издательство СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург, 2002г. - 728 с.