

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 Модернизация подстанции 110/10 кВ «Полозово» производственного отделения
Очерских электрических сетей филиала ОАО «МРСК Урала»-«Пермэнерго»

Обучающийся

А.И. Кернер

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2023

Аннотация

Данная выпускная квалификационная работа посвящена модернизации подстанции 110/10 кВ «Полозово» производственного отделения Очерских электрических сетей филиала ОАО «МРСК Урала»-«Пермэнерго».

Целью выпускной квалификационной работы является формирование практических обоснованных рекомендаций по модернизации 110/10 кВ «Полозово» производственного отделения Очерских электрических сетей филиала ОАО «МРСК Урала» - «Пермэнерго».

Объект исследования – подстанция 110/10 кВ.

Предмет исследования – поиск оптимальных подходов в процессе модернизации подстанции 110/10 кВ.

В выпускной квалификационной работе были разработаны практические обоснованные решения по модернизации подстанции 110/10 кВ «Полозово» производственного отделения Очерских электрических сетей филиала ОАО «МРСК Урала»-«Пермэнерго». Были рассмотрены условия построения закрытого распределительного устройства напряжением 10 кВ исследуемой подстанции с целью подключения дополнительных потребителей. Выполнены все разделы в соответствии с требованиями, сформулированными в задании.

Выпускная квалификационная работа состоит из: пояснительной записки, содержащей 57 страниц, 11 таблиц, рисунков и графической части, включающей блиста чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей подстанции.....	7
2 Расчет электрических нагрузок подстанции.....	12
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	16
4 Расчет токов короткого замыкания.....	20
5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников.....	24
6 Выбор основного электрооборудования и его проверка.....	28
7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики.....	30
8 Расчет заземления и молниезащиты подстанции.....	51
Заключение.....	55
Список используемой литературы и используемых источников.....	56

Введение

На сегодняшний день имеет место постоянное ужесточение требований относительно энергоэффективности, безопасности, экологичности и надежности средств производства [17].

Электрическая энергия является неотъемлемой частью жизни современного общества, что и обуславливает ее критичность и жесткие требования, предъявляемые к надежности объектов электроэнергетики.

Без электричества не представляется возможной жизнедеятельность человека. Одновременно с развитием технологий и освоением новых производственных приемов происходит увеличение уровня спроса на электрическую энергию.

Кухонная техника, средства гигиены, средства связи, ПК, бытовая техника – все это потребители электрической энергии. Очевидно, что вопрос обеспечения населенных пунктов качественной электрической энергией в необходимых объемах – это вопрос стратегической безопасности, так как работа не только бытового оборудования, но и производственных комплексов и объектов здравоохранения тоже зависит от наличия электрической энергии.

С целью распределения приоритетов электроснабжения различных объектов, все потребители электрической энергии сгруппированы по определенным признакам. Один из способов классификации потребителей электроэнергии подразумевает наличие следующих групп [2]:

- объекты недвижимости, которые представляют собой жилой фонд;
- здания и сооружения, которые являются объектами инфраструктуры населенных пунктов.

Системы электроснабжения представляют собой стратегически важные и критические объекты инфраструктуры. В связи с этим, к ним предъявляются следующие требования:

- высокие показатели экономической эффективности;

- высокие показатели надежности работы;
- высокие требования относительно уровня защиты и безопасности как самих объектов электроснабжения, так и систем распределения электрической энергии;
- высокие требования относительно качества производимой электрической энергии;
- высокие требования относительно обеспечения соответствия параметров электрической энергии тем, показателям, которые предусмотрены стандартами и регламентами.

Основными параметрами электрической энергии являются напряжение и частота. Именно эти параметры и определяют уровень качества производимой электроэнергии.

Современное оборудование и приборы, работающие от электрической энергии, являются достаточно чувствительными к степени стабильности величины питающего напряжения и его частоты.

В настоящее время частота напряжения в электрических сетях характеризуется достаточно высокой стабильностью независимо от нагрузки на сеть. Уровень напряжения наоборот, может колебаться в значительных пределах в зависимости от действия различных факторов.

В связи с тем, что электрическая энергия на пути от места ее выработки до потребителя подвергается многократной трансформации, у конечного потребителя могут иметь место значительные скачки уровня напряжения, что негативно сказывается на стабильности работы электрооборудования [20].

Целью выпускной квалификационной работы является формирование практических обоснованных рекомендаций по модернизации 110/10 кВ «Полозово» производственного отделения Очерских электрических сетей филиала ОАО «МРСК Урала» - «Пермэнерго».

Задачи работы:

- исследовать основные понятия и характеристики систем электроснабжения подстанции;

- произвести анализ схем электрических цепей подстанции;
- исследовать основные показатели функционирования подстанции;
- исследовать общую характеристику подстанции 110/10 кВ;
- произвести анализ действующей схемы подстанции 110/10 кВ и обоснование необходимости реконструкции;
- исследовать вопрос развития современных систем учета и контроля за электропотреблением;
- произвести расчет характеристик работы и оборудования подстанции;
- произвести исследование вариантов организации системы автоматизированного контроля и учета электроэнергии и анализ действующей системы;
- произвести обоснование выбора системы автоматизированного контроля и учета электроэнергии;
- произвести разработку структуры системы автоматизированного контроля и учета электроэнергии;
- разработать решения по внедрению системы автоматизированного контроля и учета электроэнергии;
- разработать технико-экономическое обоснования рекомендаций по реконструкции подстанции 110/10 кВ;
- разработать рекомендации по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ и экологичности.

Объект исследования – подстанция 110/10 кВ.

Предмет исследования – поиск оптимальных подходов в процессе модернизации подстанции 110/10 кВ.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей подстанции

Рост и численность населения, развитие инфраструктуры, сферы обслуживания и прочие факторы неизбежно вызывают увеличение потребления электроэнергии. Тем самым повышаются требования к качеству и надёжности электроснабжения. Возникает необходимость в реконструкции или модернизации электрических сетей, в замене оборудования на современное или внедрение более эффективного, способного обеспечить требуемое количество электроэнергии, а так же её качество и надёжность [1].

Степень изменения потребительской нагрузки определяется множеством факторов: погода и климат; время суток; месяц и год; экономическое положение потребителей.

Несмотря на то, что максимальное потребление электрической энергии может длиться довольно короткое время, мощность энергосистемы или изолированной электростанции должна обеспечивать пиковые режимы работы. Наличие запасных источников электроэнергии позволяет осуществлять работы по техническому обслуживанию и ремонту энергоблоков, не обесточивая при этом потребителей. Опыт показывает, необходимый запас резервной мощности для обеспечения пиковых режимов работы составляет примерно 25 %.

Развитие энергетики определяет уровень развития всего хозяйственного комплекса страны. К проблемам относятся: дальнейшее развитие электроэнергетики с одновременным совершенствованием структуры мощностей электрических систем; мероприятия по уменьшению расхода и потерь электроэнергии; использование экологически чистых технологий.

Большую роль в реализации энергетической программы играет проектирование электрической части строящихся и модернизируемых электростанций и подстанций.

Производственное отделение Очерские электрические сети (ПО ОЭС) входит в состав ОАО «МРСК-УРАЛА» – филиал «Пермэнерго». ПО ОЭС обслуживает линии электропередачи и подстанции, расположенные в юго-западной части Пермского края. На балансе предприятия находятся питающие и распределительные электрические сети классов напряжений 0,38 кВ; 10 кВ; 35 кВ и 110 кВ общей протяженностью свыше 8000 км а также 76 понизительных подстанций с классом напряжения 110/35/10 кВ.

В зону обслуживания ПО ОЭС входят: Городские округа Очерский, Верещагинский, Оханский. Муниципальные округа Большесосновский, Частинский, Сивинский, Карагайский.

Головной офис предприятия расположен по адресу: г.Очер, пер. Дорожный, 40.

Модернизируемая подстанция расположена в селе Полозово Большесосновского муниципального округа Пермского края. Данный район является удаленным от обслуживающих сетей и проблема аварийно - выездной бригады доехать в минимальное время до объекта устранения повреждения. Существующая подстанция находится на балансе Очерских электрических сетей имеет износ оборудования более 100 %. Основные объекты подстанции бытовая потребитель, поэтому в зимнее время объемы потребляемой энергии возрастают, и время простоя оборудования несет за собой недоотпуск энергии.

В данной работе рассмотрен вопрос о модернизации оборудования ПС 110/10 кВ «Полозово» от питаемой ВЛ 110 кВ «Черновская-Сива с отпайкой на ПС Полозово».

подавляющее большинство бытовых приборов имеют встроенную защиту от различных проблем, которые могут возникнуть при подключении к электросети. В том числе и защиту от импульсных перенапряжений, которые представляют собой очень короткое напряжение (не дольше микросекунд), которое значительно (иногда в сотни раз) превышает номинальное значение. Причины могут быть разные, их мы рассматривать не

будем, но смысл в том, что такие перенапряжения очень опасны для бытовых приборов. Они могут полностью вывести их из строя, вызвать пожар.

Кроме того, те блоки, которые встроены в приборы, имеют определенные ограничения, они не защитят от всего.

Под термином система электроснабжения подразумевается комплекс источников электрической энергии, ее потребителей, а также систем и сетей для ее передачи и распределения.

Для того, чтобы обеспечить передачу электрической энергии необходимо наличие линий электропередач. С помощью линий электропередач осуществляется соединение трансформаторных подстанций с потребителями. Все трансформаторные подстанции имеют подходящие и отходящие линии электропередач. В состав самих трансформаторных подстанций входит комплекс оборудования и устройств, которые необходимы для того, чтобы осуществлять необходимые преобразования и коммутации [3].

С помощью коммутационного оборудования обеспечивается изменение основных параметров электрической энергии, ее коммутацию и переключение на отходящих и входящих линиях электропередач. В случае необходимости проведения технического обслуживания или непланового ремонта с помощью коммутационного оборудования осуществляется отключение аварийных и ремонтируемых участков электрических цепей системы электроснабжения.

Для современных систем электроснабжения предусмотрено три штатных режима работы [5]:

- режим штатного функционирования всего комплекса оборудования из состава системы электроснабжения. При таком режиме все потребители, подключенные к системе электроснабжения обеспечиваются электроэнергией со стабильными параметрами качества, отвечающими всем требованиям стандартов и норм. При

таком режиме работы гарантируется целостность и исправность потребителей, подключенных к сети;

- аварийный режим, как правило, является кратковременным, а его продолжительность зависит от того, насколько оперативно будет выявлена и устранена причина выхода из строя оборудования;
- послеаварийный режим работы, соответствует времени, в течение которого система электроснабжения восстанавливает свои штатные показатели функционирования после устранения аварийного режима работы.

Подстанция 110/10 кВ «Полозово» с. Полозово Большесосновского муниципального округа Пермского края, около автодороги Черновское-Воткинск. Непосредственная удаленность ПС 110/10 кВ «Полозово» от базы Большесосновского РЭС с. Большая Соснова – 41 км.

Подстанция 110/10 кВ «Полозово» является районной подстанцией, на которой в настоящее время используется два класса напряжения 110/10 кВ. Подстанция 110/10 кВ «Полозово» была введена в эксплуатацию в 1972 году в качестве питающей электроэнергией сельскохозяйственных и бытовых потребителей Большесосновского района по ВЛ напряжением 10 кВ. В настоящее время от ПС 110/10 кВ «Полозово» запитаны потребители Большесосновского района, ряд сельхоз предприятий.

В настоящее время на ПС 110/10 кВ «Полозово» установлен два силовой трансформатор ТМН-2500кВА ТМ-2500кВА, выключатель 110 кВ тип МКП-110/630 с приводом ШПЭ-33 , питание осуществляется от ВЛ 110 кВ «Черновская-Сива с отпайкой на ПС Полозово». Существующая ПС 110/10 кВ Полозово находится в неудовлетворительном состоянии. Распределительное устройство 10 кВ выполнено на выключателях типа ВМГ-10/630, с пружинными приводами ПП-67. Двери КРУН 10 кВ имеют эксплуатационную деформацию, отсутствуют местами уплотнительные кольца. Износ существующего оборудования 10 кВ составляет 100 %. Вторичные цепи РЗА выполнены проводом с резиновой изоляцией, которая

высохла и требует замены. Оборудование 110 кВ выработало свой ресурс. Кабель проложен в земле, кабельные каналы проржавели. Маслосборники имеют трещины и частично осыпаются, что противоречит правилам пожарной безопасности и промышленной санитарии.

Срок эксплуатации ПС 110/10 кВ «Полозово» составляет 51 год. При этом в главной схеме подстанции продолжает эксплуатироваться оборудование, установленное при первоначальном строительстве. Моральное и физически устаревшее оборудование создает предпосылки к возникновению аварийных ситуаций. Особую опасность изношенные выключатели и другая коммутационная аппаратура представляет при ликвидации повреждений в сетях всех классов напряжений. Изношенная контактная система и дугогасящие устройства установленных выключателей в настоящее время не может гарантировать абсолютно надежное отключение при коротких замыканиях. В зимнее время в условиях низких температур механическая часть приводов масляных выключателей дает сбой, масляный выключатель зачастую не включается из-за загустевшего масла, что способствует неполнофазному режиму.

Вывод по разделу 1.

В данном разделе приведено описание подстанции 110/10 кВ «Полозово» филиала ОАО «МРСК Урала» – «Пермэнерго». Проблема заключается в том, что оборудование стареет и с каждым годом увеличивается интенсивность отказов и недоотпуск энергии нагрузкам. В связи с чем необходима модернизация оборудования, а именно, замена масляного выключателя 110 кВ на элегазовый выключатель типа ВЭБ-110П-40/2500 УХЛ1, замена масляных выключателей и ячеек КРУН 10 кВ на КРУН 10 кВ с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-630.

2 Расчет электрических нагрузок подстанции

ПС Полозово обслуживается ОВБ и ОРП Большесосновского РЭС. Силовые трансформаторы Т-1, Т-2, В 110 кВ Т-1, 2 с устройствами РЗА находятся в ведении диспетчера ЦУС, в управлении диспетчера ПО ОЭС.

На 1С 10 кВ включены:

- Т-1 2,5 МВА (В 10 кВ Т-1 отключен) с ТСН-1 на шинном мосту;
- ВЛ № 1 Нижний Лып;
- ВЛ № 2 Резерв с ВЛ 10 кВ № 2 ПС Черновская по АВР 10 кВ;
- ВЛ № 3 Нижний Лып;
- ТН-1 10 (НАМИ-10).

На 2С10 кВ включены:

- Т-2 2,5 МВА с ТСН-2 на шинном мосту;
- ВЛ № 4 Полозово;
- ВЛ № 5 Красный Яр;
- ВЛ № 6 Бердышево;
- ВЛ № 7 Лисья;
- ТН-2 10 кВ (НАМИ-10).

СВ 10 кВ включен, защиты на нем включены.

Для питания цепей защиты и управления Т-1, Т-2 используется выпрямленный оперативный ток 220 В:

- от двух блоков питания БПТ, подключенных к встроенным ТТ В 110 кВ Т-1, Т-2;
- от трех блоков питания БПН подключенных к ТСН-1, ТСН-2 и ТСН-3 до вводных автоматов 0,4 кВ;
- от конденсаторных батарей БК-400, предварительно заряженных от блока питания БПЗ-401 и питающегося через собственную схему АВР 0,23 кВ от ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3.

Для питания цепей соленоидов включения В 110 кВ Т-1, Т-2 выпрямленный ток от трёхфазного силового выпрямителя (БПРУ-380), подключенного к ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3 через схему АВР

Для питания цепей блокировки разъединителей силовых трансформаторов используется выпрямленный ток 220 В, от блока питания БПН подключенного к цепям переменного оперативного тока.

Для защиты, управления и сигнализации КРУН 10 кВ используется переменный оперативный ток от разделительного трансформатора 220/220 В подключенного к шинам собственных нужд.

Защиты присоединений КРУН 10 кВ на переменном оперативном токе от ТТ присоединений.

Переменное напряжение непосредственно с собственных нужд для питания обогревов, освещения, связи.

ТСН-1 и ТСН-2 подключены к шинному мосту 10 кВ Т-1 и Т-2.

ТСН-3 установлен у КРУН 10 кВ и подключен ВЛ 10 кВ № 2 ПС Черновская.

ЗОН 110 кВ Т-1, Т-2 отключены, включаются на время оперативных переключений. Т-2 оборудован устройством РПН. РПН находится в автоматическом режиме.

Выключатель 110 кВ масляный:

– МКП-110М – В 110 кВ Т-1, Т-2 Номинальный нагрузочный ток 630 А;

Номинальный ток отключения 20 кА.

– ВМГ-10 – В 10 кВ Т-2, ВЛ 10 кВ № 4, 5, 6, 7;

– ВПМ-10 – В 10 кВ Т-1, СВ 10 кВ, ВЛ 10 кВ № 1, 2, 3.

Правильное определение расчетных нагрузок является решающим фактором при модернизации подстанции. При этом необходимо учесть:

– предполагаемый рост электрических нагрузок на ближайшие пять лет.

– графики нагрузок потребителей по фидерам.

Расчет нагрузок выполняется в первую очередь с целью выбора сечений питающей и распределительной сетей и мощности трансформаторов подстанции.

Нагрузка на сборных шинах 10 кВ подстанции определяется как сумма нагрузок отходящих фидеров с учетом коэффициента одновременности максимумов $K_{О.М}$.

По отчетным данным АСКУЭ имеем замеры нагрузки потребителей в режимный день зимнего максимума в декабре 2022 г. по ПС «Полозово».

Так, например, на фид.1 максимальная активная нагрузка $P = 1169$ кВт, $\cos\varphi = 0,95$. Полная нагрузка на фидере

$$S = \frac{1169}{0.95} = 1231 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Максимальный рабочий ток на фидере:

$$I_{\text{РАБ.МАХ}} \frac{1231}{\sqrt{3} \cdot 10} = 113 \text{ А}.$$

Аналогично выполняются расчеты для остальных отходящих фидеров и вводов 10 кВ подстанции. Максимальная мощность на вводах подстанции зафиксирована в декабре 2022 г. Коэффициент разновременности максимума нагрузок в данном случае $K_{О.М} = 1$. Данные расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет нагрузок потребителей ПС «Полозово» 110/10 кВ

№ фидера 10 кВ	$\cos \varphi$	Расчетная нагрузка			Значения токов $I_{\text{раб.мах}}$, А
		P , кВт	Q , квар	S , кВ·А	
ф.1	0,95	1169	1110,5	1231	112,9
ф.2	0,93	1109	1031,3	1192	109,4

Продолжение таблицы 1

№ фидера 10 кВ	$\cos \varphi$	Расчетная нагрузка			Значения токов
		P , кВт	Q , квар	S , кВ·А	$I_{\text{раб.мах}}$, А
ф.3	0,93	817	759,8	878	80,6
ф.4	0,91	693	630,6	762	69,9
ф.5	0,96	1217	1168,3	1268	116,3
ф.6	0,92	1465	1347,8	1592	146,1
ф.7	0,90	839	755,1	932	85,5

АПВ на В 10 кВ Т-1, Т-2 и В 10 кВВЛ 2С 10 кВ однократное, на В 10 кВ ВЛ 1С 10 кВ двукратное.

АВР 10 кВ В 10 ВЛ № 2 одностороннего действия.

АВР 0,4 кВ ТСН-1, ТСН2 и ТСН-3 на магнитных пускателях, с преимуществом от ТСН-1, ТСН-2.

АЧР и ЧАПВ на В 10 кВ Т-1, Т-2 с контролем напряжения от ТСН-1, ТСН-2.

На ПС установлено устройство ИМФ 1С, предназначенное для определения места повреждения на отходящих ВЛ 10 кВ. ИМФ 1С подключен к токовым цепям ТТ В 10 кВ Т-1, Т-2 и цепям напряжения ТН 10 кВ.

Вывод по разделу 2.

В ходе выполнения второго раздела выпускной квалификационной работы был произведен расчет электрических нагрузок подстанции.

Определены максимальные рабочие токи на фидерах,. Например, на фидере 1 максимальный рабочий ток составил 113 А. Максимальная мощность на вводах подстанции зафиксирована в декабре 2022 г. Коэффициент разновременности максимума нагрузок в данном случае $K_{\text{О.М}} = 1$. При расчетах использовались отчетные данные АСКУЭ и замеры нагрузки потребителей в режимный день зимнего максимума в декабре 2022 г. по ПС «Полозово».

3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Трансформаторы, в состав которых входит устройство РПН используются в сетях с действующим напряжением от 35кВ.

В случае трансформаторов типа ПБВ величина выходного напряжения может регулироваться в пределах $\pm 5\%$. В случае использования таких трансформаторов, перед началом процесса регулировки выходного напряжения необходимо отсоединить нагрузку. Это связано с определенными трудностями. Таким образом, регулировка в таких сетях осуществляется достаточно редко, как правило, в межсезонное время или во время проведения ремонтных и регламентных работ с отключением нагрузки от сети [4]. Потери, обусловленные передачей электрической энергии по проводам можно минимизировать путем отключения как активной, так и реактивной нагрузки, что положительно сказывается на стабильности напряжения всей сети. Основным способом уменьшения активной оставляющей комплексного сопротивления является уменьшение сопротивления проводов, по которым осуществляется передача электрической энергии. Основным способом уменьшения реактивной оставляющей комплексного сопротивления является расщепление фаз проводов, а также подключение устройств, обеспечивающих емкостную продольную компенсацию. В случае использования устройств емкостной продольной компенсации происходит уменьшение величины комплексного сопротивления. Однако наличие в системе этих устройства негативно сказывается на величине токов короткого замыкания. В случае использования устройств емкостной продольной компенсации происходит уменьшение величины комплексного сопротивления [6].

Метод комплексного регулирования является наиболее совершенным и обладает большей эффективностью. При этом методе одновременно с изменением величины мощности компенсирующих устройств происходит изменение величины коэффициента трансформации трансформаторов.

Расчетная мощность:

$$S_{тр.расч.} = 0,7 \cdot S_{нагр.}, \quad (1)$$

где $S_{нагр.}$ - полная нагрузка ПС на стороне ВН, МВ·А.

$$S_{нагр.} = \frac{P_{нагр.}}{\cos\varphi}, \quad (2)$$

где $\cos\varphi$ - коэффициент мощности нагрузки

$$S_{нагр.} = S_{нагр.сн} + S_{нагр.лн}. \quad (3)$$

Формулы для расчёта потерь мощности ПС:

$$\Delta Q_{ст} = \frac{2I_{x.x}}{100} \cdot S_{ном}. \quad (4)$$

Формулы для расчёта потерь мощности:

$$\Delta S_{ВН} = \frac{S_{нагрВН}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{R_{мВН}}{2} + j \frac{S_{нагрВН}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{X_{мВН}}{2}, \quad (5)$$

$$\Delta S_{СН} = \frac{S_{нагрСН}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{R_{мСН}}{2} + j \frac{S_{нагрСН}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{X_{мСН}}{2}, \quad (6)$$

$$\Delta S_{НН} = \frac{S_{нагрНН}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{R_{мНН}}{2} + j \frac{S_{нагрНН}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{X_{мНН}}{2}. \quad (7)$$

Краткосрочное прогнозирование предназначено для информирования и текущего управления основными эксплуатационными режимами. Прогноз энергопотребления в течение от нескольких часов до суток во многом определяет работу оптового рынка электрической энергии.

Долгосрочные прогнозы, как правило, составляются для органов государственного управления, которые на основании предоставленных данных разрабатывают комплексные федеральные и региональные программы, направленные на развитие энергетического комплекса. Задача подобных прогнозов заключается не в получении количественных оценок, а в исследовании перспектив оказания влияния на энергетическую отрасль страны, путем сдерживания или ускорения ее развития [7].

Мощность каждого трансформатора находится по формуле:

$$S_T = \frac{S_{нагр}}{1.4}, \quad (8)$$

где $S_{нагр}$ – суммарная мощность нагрузки ЗРУ.

$$S_{нагр} = S_{ЗРУ15} + S_{ЗРУ10}, \quad (9)$$

Суммарную мощность нагрузки подстанции найдём по формуле (9):

$$S_{нагр} = 16175 + 16250 = 32425 \text{ кВА.}$$

Определим мощность каждого трансформатора по формуле (8):

$$S_T = \frac{32425}{1.4} = 23160,7 \text{ кВА.}$$

Выбираем два трёхобмоточных трансформатора типа ТДТН-25000/110/15/10.

Параметры данного силового трансформатора:

– номинальная мощность, $S_{ном} = 25 \text{ МВА}$;

– потери, кВт:

а) $P_x = 28.5$;

б) $P_k = 140$;

– габариты:

а) длина 6.6 м;

б) ширина 4.8 м;

в) высота 6 м;

– масса, т:

а) масла 21;

б) транспортная 58;

в) полная 65;

– цена Ц = 5400 тыс. руб.

Вывод по разделу 3.

В третьем разделе выпускной квалификационной работы произведен выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.

Трансформаторы, в состав которых входит устройство РПН используются в сетях с действующим напряжением от 35кВ. Такие трансформаторы имеют большую стоимость по сравнению с трансформаторами ПБВ. Сфера использования трансформаторов с ПБВ – это сети с напряжением до 10 кВ. С помощью РПН трансформаторов имеется возможность изменения величины питающего напряжения в диапазоне $\pm 15\%$. При этом изменение величины питающего напряжения может изменяться с шагом, равным 1,5% – 2% от номинального значения. Процесс регулировки величины выходного напряжения может быть автоматизирован. В некоторых случаях имеет смысл использования РПН трансформаторов в сетях с действующим напряжением от 10 кВ.

Так как подстанция – существующая, то выбирается и проверяется лишь устанавливаемое оборудование. А существующее оборудование только проверяется по изменившимся параметрам сети и в случае невыполнения условий выбора заменяется на новое.

4 Расчет токов короткого замыкания

Расчетная схема представлена на рисунке 1. Параметры элементов схемы приведены в таблице 2.

Результаты расчета представлены в таблицах 2 – 7.

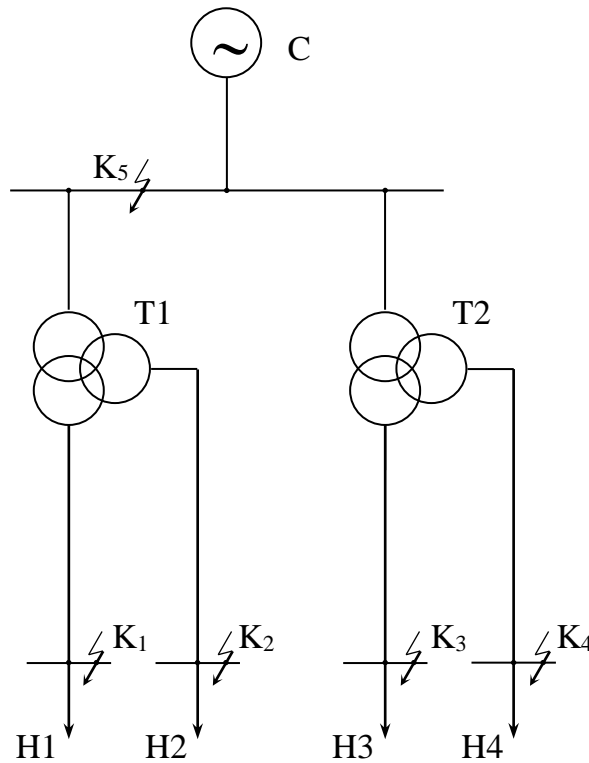


Рисунок 1 – Схема для расчёта токов короткого замыкания

Таблица 2 – Параметры элементов схемы для расчёта токов короткого замыкания

Элементы	Исходные параметры элементов	Расчётные параметры		
		R, о.е.	X, о.е.	E, о.е.
Система	$S_{\text{ном}} = 1000 \text{ МВА}$ $X_C = 0.413 \text{ о.е.}$ $K_{уд} = 1.8$	0.0293	0.413	1.000

Продолжение таблицы 2

Элементы	Исходные параметры элементов	Расчётные параметры		
		R, о.е.	X, о.е.	E, о.е.
Трансформатор Т2	$S_{\text{НОМ}} = 25 \text{ МВА}$ $U_{\text{ВС}} = 10.5 \%$ $U_{\text{ВН}} = 17.5 \%$ $U_{\text{СН}} = 6.5 \%$ $P_{\text{ВС}} = 140 \text{ кВт}$ $P_{\text{ВН}} = 0 \text{ кВт}$ $P_{\text{СН}} = 0 \text{ кВт}$	0.2155	4.041	
Эквивалент нагрузки (Н1)	$P_{\text{НОМ}} = 6.1 \text{ МВт}$ $I_{\text{ПУСК}} = 5.6 \text{ о.е.}$ $\text{КПД} = 94\%$ $\cos \varphi = 0.87$ $T_{d1} = 0.07 \text{ с}$ $T_a = 0.04 \text{ с}$	1.9051	23.940	0.925
Эквивалент нагрузки (Н2)	$P_{\text{НОМ}} = 6.5 \text{ МВт}$ $I_{\text{ПУСК}} = 5.6 \text{ о.е.}$ $\text{КПД} = 94\%$ $\cos \varphi = 0.87$ $T_{d1} = 0.07 \text{ с}$ $T_a = 0.04 \text{ с}$	1.7879	22.467	0.925
Эквивалент нагрузки (Н3)	$P_{\text{НОМ}} = 6.84 \text{ МВт}$ $I_{\text{ПУСК}} = 5.6 \text{ о.е.}$ $\text{КПД} = 94\%$ $\cos \varphi = 0.87$ $T_{d1} = 0.07 \text{ с}$	1.6990	21.350	0.925
Эквивалент нагрузки (Н4)	$P_{\text{НОМ}} = 6.5 \text{ МВт}$ $I_{\text{ПУСК}} = 5.6 \text{ о.е.}$ $\text{КПД} = 94\%$ $\cos \varphi = 0.87$ $T_{d1} = 0.07 \text{ с}$	1.7879	22.467	0.925

Таблица 3 – Параметры короткого замыкания в точке К₁

Элемент	I _{по} , кА	I _{пт} , кА	T _а , с	i _{уд} , кА	i _{ат} , кА	i _{кт} , кА	β, %	B, кА ² ·с
T1	5.75	5.75	0.056	14.94	0.677	8.81	8.3	6.81
H1	1.48	0.2	0.04	3.73	0.063	0.35	22.3	0.16
к.з.	7.23	5.95	0.059	18.67	0.741	9.16	8.8	9.16

Сопротивление узла к.з., о.е.: R_{эКВ}= 0.3252, X_{эКВ} = 5.312.

Таблица 4 – Параметры короткого замыкания в точке К₂

Элемент	I _{по} , кА	I _{пт} , кА	T _а , с	i _{уд} , кА	i _{ат} , кА	i _{кт} , кА	β, %	B, кА ² ·с
T1	14.6	14.6	0.055	37.85	1.606	22.25	7.8	43.61
H2	2.37	0.32	0.04	5.96	0.101	0.55	22.3	0.42
к.з.	16.97	14.92	0.057	43.81	1.707	22.81	8.1	52.75

Сопротивление узла к.з., о.е.: R_{эКВ}= 0.2074, X_{эКВ} = 3.396.

Таблица 5 – Параметры короткого замыкания в точке К₃

Элемент	I _{по} , кА	I _{пт} , кА	T _а , с	i _{уд} , кА	i _{ат} , кА	i _{кт} , кА	β, %	B, кА ² ·с
T2	5.75	5.75	0.056	14.94	0.677	8.81	8.3	6.81
H3	1.66	0.22	0.04	4.18	0.071	0.39	22.3	0.21
к.з.	7.41	5.97	0.059	19.12	0.748	9.2	8.9	9.48

Сопротивление узла к.з., о.е.: R_{эКВ}= 0.3196, X_{эКВ} = 5.183.

Таблица 6 – Параметры короткого замыкания в точке К₄

Элемент	I _{по} , кА	I _{пт} , кА	T _а , с	i _{уд} , кА	i _{ат} , кА	i _{кт} , кА	β, %	B, кА ² ·с
T2	14.83	14.83	0.055	38.42	1.613	22.58	7.7	44.92
H4	2.37	0.32	0.04	5.96	0.101	0.55	22.3	0.42
к.з.	17.2	15.15	0.057	44.39	1.714	23.14	8.0	54.19

Сопротивление узла к.з., о.е.: $R_{\text{эКВ}} = 0.2052$, $X_{\text{эКВ}} = 3.351$.

Таблица 7 – Параметры короткого замыкания в точке K_5

Элемент	$I_{\text{по}}$, кА	$I_{\text{пт}}$, кА	T_a , с	$i_{\text{уд}}$, кА	$i_{\text{ат}}$, кА	$i_{\text{кт}}$, кА	β , %	B , кА ² ·с
С	12.68	12.68	0.045	32.27	0.788	18.72	4.4	31.3
T1	0.29	0.29	0.044	0.75	0.018	0.43	4.2	0.02
T2	0.30	0.30	0.045	0.78	0.019	0.45	4.3	0.02
к.з.	13.28	13.28	0.045	33.79	0.825	19.6	4.4	34.32

Сопротивление узла к.з., о.е.: $R_{\text{эКВ}} = 0.02802$, $X_{\text{эКВ}} = 0.3944$.

Вывод по разделу 4.

В четвертом разделе выпускной квалификационной работы произведен расчет токов короткого замыкания.

В процессе расчетов определены ударные токи, значения периодических и аperiodических составляющих токов в начальный момент времени короткого замыкания и в момент размыкания контактов выключателя, интегралы Джоуля.

Расчет токов короткого замыкания в момент размыкания контактов выключателя произведен для проверки последних по отключающей способности.

5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

Для цепей 10 кВ принимаем ячейки КРУ UniGear типа ZS1. Данное оборудование относится к новому поколению, является относительно недорогостоящим и обладает достаточной надежностью[9].

Значения величин характеризующих короткое замыкание были найдены ранее и представлены в пункте 4.

Данные для выбора выключателей 10 кВ представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8– Паспортные и контрольные данные выключателей VD4 12 устанавливаемых в цепи трансформатора и секционного выключателя

Паспортные данные		Контрольные данные	
$U_{ном}$, кВ	10	$U_{уст}$, кВ	10
$I_{ном}$, А	1600	$I_{раб.ум}$, А	1279.4
$I_{откл.ном}$, кА	40	I_{nt} , кА	15.15
$\sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{откл.ном}$, кА	$\sqrt{2} \cdot 0.15 \cdot 40 = 8.48$	$i_{ат}$, кА	1.714

Таким образом вакуумный выключатель типа VD 4 12 удовлетворяет условиям работы.

REF 542 plus можно включить в систему управления более высокого уровня с возможностью комплектного дистанционного управления распределительного устройства. Мощность потребляемая устройством от трансформатора тока 0,1 ВА.

Паспортные и контрольные данные выключателей VD4 12 устанавливаемых в цепи отходящих линий 10 кВ приведены в таблице 9.

Таблица 9– Паспортные и контрольные данные выключателей VD4 12 устанавливаемых в цепи отходящих линий 10 кВ

Паспортные данные		Контрольные данные	
$U_{ном}$, кВ	10	$U_{уст}$, кВ	10
$I_t^2 \cdot t_t$, кА ² ·с	$40^2 \cdot 3 = 4800$	B , кА ² ·с	54.19
$I_{пр.с}$, кА	40	$I_{но}$, кА	17.2
$i_{пр.с}$, кА	100	$i_{уд}$, кА	44.39

Для цепи линий 10 кВ к потребителям выбирается трансформатор тока типа ТРУ 4, выпускаемый фирмой «АВВ», с номинальным током первичной обмотки $I_{1ном} = 400$ А, класса точности 0.5.

Находим сопротивление устройств и соединительных проводов:

$$r_{приб} = \frac{0.1}{5^2} = 0.004 \text{ Ом};$$

$$r_{пр} = 0.8 - 0.004 - 0.05 = 0.746 \text{ Ом.}$$

Определим сечение соединительных проводов для соединения трансформатора тока в неполную звезду по формуле:

$$S = \frac{0.0283 \cdot 5.196}{0.746} = 0.197 \text{ мм}^2.$$

Выбирается алюминиевый провод марки АПВ сечением 2.5 мм².

Данные для проверки трансформатора тока представлены в таблице 10.

Как уже упоминалось выше, на стороне 10 кВ предлагается использовать устройства защиты и управления REF 542 plus, которые и являются вторичной нагрузкой трансформаторов напряжения. Кроме

основных функций, эти терминалы обеспечивают непрерывную проверку функционирования и самодиагностику, измерение токов, напряжений, активной, реактивной мощности, частоты, регистрацию событий. На подстанции терминалы объединяются в локальную сеть для управления ими от персонального компьютера с использованием программы мониторинга. Мощность потребляемая терминалом REF 542 plus составляет 0,25 ВА

Таблица 10– Паспортные и контрольные данные трансформатора тока установленного в цепи линии 10 кВ

Паспортные данные		Контрольные данные	
$U_{ном}$, кВ	10	$U_{уст}$, кВ	10
$I_{ном}$, А	400	$I_{раб.ут}$, А	312.3
$i_{эд}$, кА	100	$i_{уд}$, кА	44.39
$I_t^2 \cdot t_t$, кА ² ·с	$10^2 \cdot 3 = 300$	B , кА ² ·с	54.19
$Z_{2ном}$, Ом	0.8	Z_2 , Ом	0.8

Таким образом, трансформатор тока типа ТРУ 4 удовлетворяет условиям работы.

При выборе трансформаторов напряжения обязательно выполнение следующих условий:

- по классу точности;
- по номинальному напряжению трансформатора напряжения:

$$U_{уст} \leq U_{ном} . \quad (10)$$

Выбирается трансформатор напряжения ТДС 4, выпускаемый фирмой “АВВ”. Паспортные и контрольные данные для проверки выбора трансформатора напряжения сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Паспортные и контрольные данные трансформатора напряжения

Паспортные данные		Контрольные данные	
$U_{ном}$, кВ	10	$U_{уст}$, кВ	10
$S_{ном}$, ВА	75	$S_{2\Sigma}$, ВА	0.25

Таким образом, трансформатор напряжения типа TDC 4 удовлетворяет условиям работы подстанции.

Вывод по разделу 5.

В пятом разделе выпускной квалификационной работы произведен расчет и выбор электрических аппаратов и проводников.

Для цепей 10 кВ были приняты ячейки КРУ UniGear типа ZS1. Ячейки КРУ 10 кВ комплектуются универсальным микропроцессорным блоком защиты и управления REF 542 plus, который представляет собой составную часть системы распределительного устройства ZS1. Все функции вторичных систем, такие как переключение, сигнализация, защита, измерение и мониторинг, выполняются одним этим устройством. В результате этого происходит значительное снижение затрат, времени и трудоёмкости на планирование проекта, сборку, введение в эксплуатацию и хранение. Все функции REF 542 plus программируются для конкретного применения и имеют устройство для постоянного автоматического мониторинга.

6 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Линии передач электрической энергии имеют характерную особенность, которая заключается в отсутствии потребителей. Их основное назначение состоит в том, чтобы осуществлять передачу электрической энергии.

Уровень надежности систем передачи и распределения электрической энергии представляет собой один из основных и критичных параметров, характеризующих их эффективность.

В состав современных систем электроснабжения населенных пунктов входят следующие объекты [10]:

- электрические подстанции;
- линии электропередач;
- устройства ввода в жилые дома.

Существует перечень параметров, которые являются наиболее показательными и критичными характеристиками систем электроснабжения:

- максимальный уровень соответствия задач, стоящих перед системой электроснабжения и ее основных функций;
- соответствие основных параметров системы электроснабжения тем, которые заложены в техническом задании на систему электроснабжения;
- обеспечение требуемых показателей качества надежности и их соответствие предъявляемым требованиям.

В состав современных систем электроснабжения входят устройства и аппараты, обеспечивающие защиту подключенных потребителей в случае нештатного функционирования и выхода за установленные пределы параметров качества электрической энергии. В настоящее время наиболее эффективным и распространенным инструментом защиты электрических сетей являются средства релейной защиты и автоматики.

Определим расчётный ток ЛЭП:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (11)$$

Получим:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 429 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определим экономическое сечение провода:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{раб.мах}}}{I_{\text{эк}}} = \frac{429}{2,3} = 130,2 \text{ мм}^2.$$

В соответствии с произведённым расчетом, выбран провод марки АС – 150 с $I_{\text{доп}} = 440 \text{ А}$.

Устанавливаем трансформаторы тока на вводах 110 кВ силовых трансформаторов.

Вывод по разделу 6.

В шестом разделе выпускной квалификационной работы произведен выбор основного электрооборудования и его проверка.

Основным условием формирования качественной системы электроснабжения является анализ условий ее эксплуатации и правильный выбор схем, устройств и материалов, которые будут применяться в процессе ее практической реализации.

Определим расчётный ток ЛЭП, который составил 429 А. В соответствии с расчетом, выбран провод марки АС – 150.

7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Применяемая схема АВР приведена на рисунке 2.

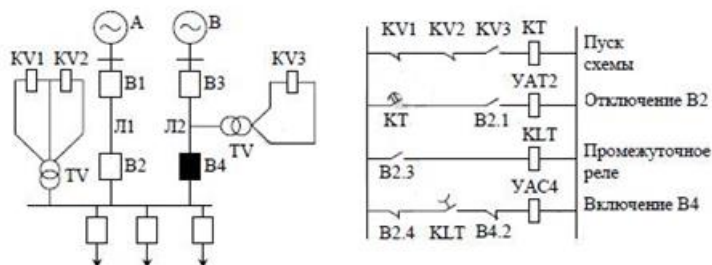


Рисунок 2 – Применяемая схема АВР

Основным условием стабильной и безотказной работы потребителей электрической энергии является их снабжение электроэнергией, которая отвечает всему комплексу требований относительно качества и стабильности основных параметров.

Потребители электрической энергии 1 категории. В этой категории имеется отдельная группа электрических приемников, которые обеспечивают безопасность особо ответственных энергетических установок. С их помощью гарантируется безаварийная остановка таких объектов [11].

Потребители электрической энергии 2 категории. В случае нарушения энергоснабжения этих приемников могут возникнуть ситуации, в которых имеют место перебои в производственных циклах, нарушения цикличности производственных процессов, а также нештатные режимы функционирования режимных организаций. При этом нарушается деятельность огромного количества рабочего персонала организаций. Потребители электрической энергии 1 категории. В случае нарушения энергоснабжения этих приемников не наблюдаются какие либо нештатные ситуации. Также к этой категории относятся потребители электрической энергии, не входящие в состав 1 и 2 категорий. При проектировании системы электроснабжения вспомогательного производства

машиностроительного предприятия необходимо предусмотреть и учесть наличие в непосредственной близости потребителей электроснабжения, которые не относятся к потребителям рассматриваемого предприятия.

При проектировании систем электроснабжения предприятий металлургического комплекса необходимо учитывать то, что они оснащаются очень мощным оборудованием, потребляющим большое количество электрической энергии. В наиболее крупных предприятиях металлургического комплекса общая мощность потребителей электрической энергии может составлять несколько тысяч МВт [11].

Для обеспечения максимальных показателей экономичности и эффективности расстояние между потребителями электроэнергии и источниками напряжения должно быть минимальным. Системы электроснабжения проектируются при условии, что все ее элементы работают под максимальной токовой нагрузкой. Также при проектировании не подразумевается наличие «холодного» резерва. Такие начальные условия обеспечивают высокую надежность и экономичность системы электроснабжения. При наличии резервных элементов электрических цепей их включение происходит достаточно редко. Вследствие этого есть высокая вероятность выхода их из строя, что приведет к снижению уровня надежности всей системы. Данная проблема решается путем введения в состав электрической схемы так называемых «скрытых» резервных элементов. Резервные элементы необходимы для того, чтобы обеспечить работоспособность схемы в послеаварийных режимах работы. В сфере электроснабжения основной обязанностью федеральной власти является формирование высокоэффективной, доступной, стабильной и надежной системы энергоснабжения всех объектов производства и гражданской сферы. В свою очередь, законодательство в сфере энергетики должно регулировать вопросы обеспечения доступности электрической энергии как для крупных производственных предприятий, так и для гражданского населения. Помимо

этого должное внимание необходимо обратить и на обеспечение экологической безопасности при организации систем электроснабжения.

Для того, чтобы обеспечить высокую стабильность работы систем электроснабжения необходимо систематически проводить комплекс регламентных и профилактических работ. Современные схемы электроснабжения позволяют осуществлять такие работы без обязательного отключения от электрической сети потребителей. Такая возможность имеется в случае наличия в системе электроснабжения резервных каналов и источников электроснабжения [12].

В процессе проектирования объекта уже предусматривается проведение ряда мероприятий, способствующих обеспечению необходимого уровня надежности электроснабжения. Для обеспечения требуемого уровня надежности энергоснабжения объекта необходимо строго соблюдать все требования регламентов и инструкций по профилактике и плановым обслуживанием оборудования.

Существует определенная классификация потребителей электрической энергии, которая подразумевает наличие 3 категорий приемников электроэнергии [16]:

- потребители электрической энергии 1 категории. В этой категории имеется отдельная группа электрических приемников, которые обеспечивают безопасность особо ответственных энергетических установок. С их помощью гарантируется безаварийная остановка таких объектов.

По степени бесперебойности исследуемый цех относится ко II категории. К основным и наиболее объективным показателям, отражающим уровень качества электрической энергии, относятся: величина отклонения значения напряжения в сети от номинального значения; колебания частоты переменного напряжения; нестабильность амплитуды переменного напряжения; отклонение формы сигнала от синусоидальной формы; степень асимметрии напряжения сети, соответствующего номинальной величине частоты.

Для качественной оценки уровня качества электрической энергии существуют следующие технико-экономические показатели:

- показатели, отражающие наличие производственного брака, снижения производительности, нарушения нормальной последовательности выполнения технологических операций;
- показатели, отражающие наличие потерь электрической энергии в энергетических установках, снижение производительности оборудования и снижение КПД приемников электрической энергии [17].

В связи с тем, что современные технологические процессы в условиях больших производственных объектов требуют использования большого числа потребителей электрической энергии большой мощности, происходит постоянное увеличение нагрузки на электрические сети. Таким образом, от электрической мощности применяемого оборудования зависит уровень качества питающей сети.

Системы энергоснабжения предприятий и организаций характеризуются рядом технико-экономических показателей. В процессе контроля основных показателей качества электрической энергии решается ряд задач:

- в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.30-2013 осуществляется мониторинг основных показателей, отражающих уровень качества электрической энергии [15];
- анализ масштабов нанесенного урона в результате отклонения показателей качества электрической энергии от нормальных значений;
- анализ причин отклонения показателей качества электрической энергии от нормальных значений;

Существует ряд причин, вследствие которых могут наблюдаться отклонения величины напряжения сети от номинального значения. Основными причинами являются [8]:

- изменение нагрузки на электрическую сеть (обусловлено временем суток, временем года и т.д.);
- использование различных устройств, предназначенных для компенсации реактивной мощности;
- изменение параметров генерирующих устройств со стороны энергоснабжающих предприятий и питающих подстанций;
- внесение каких либо изменений в электрическую схему снабжения.

Несмотря на наличие тех или иных перечисленных выше факторов дестабилизации питающего напряжения, конечные потребители должны быть обеспечены электрической энергией, которая в полной мере соответствует всему комплексу требований ГОСТ 30804.4.30. В результате несоответствия параметров электрической энергии требованиям ГОСТ 30804.4.30 могут возникать изменения технико-экономических показателей потребителей электрической энергии. При этом нарушается стабильность работы всей энергосистемы. Такие условия работы электрических установок могут негативно сказываться на их работоспособности и эффективности функционирования. При нештатных режимах электроснабжения приемников электрической энергии могут возникать дополнительные потери мощности. Точечное отклонение величины питающего напряжения может стать причиной нарушения энергетического баланса во всей энергетической системе. Вместе с этим при низкой стабильности уровня питающего напряжения возникают электромагнитные помехи и технологические сбои в работе всего комплекса оборудования.

Отклонение величины питающего напряжения в большую сторону является причиной [6]:

- нарушения теплового баланса электроприемников, что приводит к их выходу из строя;
- сокращение ресурса энергетических установок вследствие того, что они работают с отклонением от номинальных режимов;

- резкого роста величины реактивной мощности внутри энергетической системы.

Отклонение величины питающего напряжения в меньшую сторону является причиной [6]:

- снижения величины момента вращения валов исполнительных механизмов, что приводит к снижению КПД всей системы;
- нарушения работы системы освещения вследствие несоответствия светового потока требуемым значениям при номинальном значении величины питающего напряжения;
- увеличения расхода электрической энергии, что приводит к снижению экономической эффективности всей энергетической системы.

Потребители запитаны от напряжения в 380 и 220 В. Напряжение в 380 и 220 В также является наиболее часто используемым, что можно объяснить тем, что использование такого напряжения позволит соединить запитывание силовых и осветительных нагрузок. На секционном выключателе предусмотрена максимально-токовая защита с выдержкой времени, выполняемая в двухфазном исполнении. В качестве пусковой аппаратуры для оборудования, принимаются пускатели типа ПВИ, ПРН и автоматические выключатели типа ВРН. Защита отходящих линий напряжением 10 кВ предусмотрена на базе устройства защиты и управления REF 542plus. Грозоразрядники серии HAKELSTORM обладают целым рядом преимуществ по сравнению с трубчатыми: это в первую очередь срок службы, который составляет 100000 часов; возможность использования при любых режимах нейтрали; время срабатывания разрядника составляет меньше 100 нсек; способ монтажа DIN рейка, небольшие габариты, экономически более выгодней, отсутствие зоны выхлопов.

Исходя из анализа характеристик и преимуществ разрядников для защиты трансформаторной подстанции от перенапряжений на стороне 10 кВ выбираем ограничитель перенапряжений ОПН – РТ/TEL[21].

УЗИП – устройство защиты от импульсных перенапряжений. Их главное назначение это защита от ударов молнии, при чем не только от прямых, но от наводок и импульсных разрядов, которые при грозе бывают не так уж и редко. Да и для появления таких импульсов даже и гроза не всегда нужна, это вполне возможно, если кто-то запустит мощный сварочный аппарат и по другим причинам. Кратковременный, но очень сильный импульс, может спалить электронные компоненты приборов и даже вызвать их возгорание. И от подобной угрозы УЗО или реле напряжения уже не помогут. Есть мнения, согласно которым УЗИП может и не защитить от прямого удара молнии, для этого нужно применять комплекс мер молниезащиты. Тем не менее, тут все зависит от класса устройства и от других обстоятельств (например, напряжения импульса). Возможно, есть случаи, когда УЗИП не спасал, но есть и случаи, когда он действительно был необходим и защитил электроприборы. Ну и опять же, напомним, что дело не только в ударе молнии. Принцип работы достаточно прост, что обеспечивает надежность. В качестве чувствительного элемента выступает варистор, который в тот момент, когда через него проходит напряжение выше номинального, уменьшает свое сопротивление. Если это происходит, то ток перенаправляется на контур заземления (получается короткое замыкание), что приводит к срабатыванию автоматического выключателя и отключению цепи. Такое устройство безотказно и очень надежно, если номинальное значение будет превышено на определенный диапазон, то УЗИП гарантированно сработает [13].

У УЗИП есть определенное время срабатывания, впрочем, оно обычно минимально и его хватает. Также у прибора есть определенный уровень напряжения, который он способен выдержать, но об этих параметрах и других характеристиках мы еще поговорим ниже. Это защитное устройство используется для разных задач, поэтому характеристики и цена могут очень сильно отличаться, но при этом устройство в целом и принцип работы такие, как мы описали выше. Сама схема УЗИП достаточно простая, но в данном

случае простота обеспечивает надежность. Кроме того, есть и параметры эксплуатации, что важно в зависимости от места установки. Например, класс пылевлагозащиты, допустимый температурный диапазон эксплуатации. Некоторые производители даже указывают максимальную высоту над уровнем моря, на которой допустимо использовать конкретную модель УЗИП. Но в целом, тут как раз тот случай, когда проще предостеречься и переплатить, зато быть спокойным. В первую очередь это относится к классу УЗИП, ну и к другим характеристикам тоже. Также их выпускают в разном исполнении и под разные монтажные опоры. Схемы подключения должны быть в инструкции, отмечу, что там есть отличия в зависимости от системы заземления. Также важно знать то, что обязательным условием будет наличие аппарата защиты, а перед ним предохранителя или автомата.

УЗИП – не единственное средство защиты, но если говорить именно про импульсные перенапряжения, то здесь это устройство справляется очень хорошо. Но не стоит ждать, что он защитит от того перенапряжения, на которое просто не рассчитан или если это будет длительное перенапряжение, на что он также не рассчитан.

Причиной перенапряжения может стать:

- возникновение избыточной нагрузки из-за подключения мощного оборудования, одновременного включения многих потребителей или проведения сварочных работ на соседних участках;
- неграмотное соединение контактов в элеткрощитке.

Например, современные котлы при возникновении подобного сбоя сразу же останавливаются и выдают ошибку. Поэтому для устранения таких последствий агрегат подключают через стабилизатор тока, вовремя улавливающий изменения и выравнивающий напряжение до номинального значения.

Для предупреждения сбоя в работе отопительный котел лучше подключить через стабилизатор напряжения. Для домашнего оборудования, работающего от сети 220 В, требуется защита не только от большого

перенапряжения, но незначительных. Поэтому электроцепь желательно оснастить различными сетевыми фильтрами, стабилизаторами и реле напряжения, это особенно актуально для чувствительного к малейшим перепадам оборудования. Однако одних их не будет достаточно – без УЗИП при возникновении мощного импульса все они сгорят вместе с техникой [19]. Для того чтобы защитить домашнюю электросеть от любого рода перенапряжений, в том числе импульсного, применяются следующие разновидности приборов:

- УЗИП.

Прибор, прежде всего, защищает от высоких скачков напряжения, таких, как, например, во время разряда молнии. При этом существует следующие варианты установки – внутри вводного щита. Устанавливается совместно с молниезащитой дома. Является наиболее надежной. В случае попадания молнии в дом устройство сработает, как автомат и защитит всю технику дома. Также допускается вариант без молниеотвода. Но тогда потребуется устанавливать несколько разноклассных УЗИП – один на опоре ЛЭП, другой на столбе рядом с домом и еще один на самой щитке дома;

- нелинейные ограничители напряжения.

Принцип действия устройства основан на входящих в их состав нелинейных варисторах. Когда величина напряжения превышает рамки допустимого значения, его сопротивление падает, что ведет к свободному уходу тока в подсоединенный контур заземления.

При номинальном токе величина сопротивления большая, и потому ток не проходит в заземляющую жилу. Нелинейные ограничители могут устанавливаться как на опорах электропередач, так и непосредственно в щитках дома. Во втором случае это специальные компактные модули;

- сетевые фильтры.

Как вариант защиты высокочувствительного оборудования может применяться сетевой фильтр. Устанавливается в цепи непосредственно перед конкретным потребителем. Главный недостаток – весьма низкий порог

ограничений. Так, если в сети произойдет скачок в 450 В и выше, прибор просто сгорит. Однако оборудование при этом сохранится в целости.

Сетевой фильтр – самый простой, но достаточно ограниченный защитник от перенапряжения.

Основной плюс заключается не только в том, что он защищает от перенапряжения, но и выравнивает характеристики тока, то есть фильтрует высокочастотные помехи, возникающие, например, при электросварке. Поэтому его можно рекомендовать к установке перед компьютерами, телевизорами и прочей подобной техникой;

- стабилизаторы.

Основная функция – стабилизация характеристик тока и доведение его до номинального значения. Кроме того, при выходе показателей напряжения выше допустимого устройство отключает подачу тока. Возобновление происходит только тогда, когда характеристики сети возвращаются в норму.

Все приборы защиты, предназначенные для бытового использования, подразделяются на 2 вида – магистральные и линейные. Первые устанавливаются на общем вводе в дом, вторые – на конкретный прибор или группу [22].

При выборе прибора защиты от импульсных перенапряжений для частного дома необходимо руководствоваться следующими критериями:

- количество фаз в сети. От этого будет зависеть число вводных контактов;
- класс, задающий место в электросхеме;
- место установки – на улице или в помещении;
- степень доступности для обслуживания непрофессиональному пользователю;
- способ монтажа – с возможностью переноса или для неподвижной установки;
- наличие функций защиты – тепловая, ток утечки, сверхток;
- защита от внешних факторов – температуры и влажности;

- температура окружающей среды для эксплуатации – для уличной или внутренней установки;
- тип системы заземления.

Если УЗИП не исключает возможность обслуживания неквалифицированным пользователем, например, когда устанавливается в щитке дома, а не на столбе, оно не должно включать токоведущие части без защитной оболочки, доступные после снятия деталей без использования инструмента. УЗИП – аппарат/прибор, предназначенный для защиты от скачков напряжения, вызванных воздействием молнии и авариями в электрической сети. Данное устройство является частью внутренней молниезащиты и дополняет внешнюю (молниеприемные стержни на крыше, провода на стенах или водосточных трубах, контур заземления громоотвода).

Устройства защиты от импульсных перенапряжений многоазовые и рассчитаны на несколько импульсов молнии. К сожалению, производители этих приборов не сообщают в перечне характеристик количество выдерживаемых перенапряжений, но опыт эксплуатации говорит в пользу большой долговечности такого оборудования. Для того что бы контролировать собственную работоспособность, УЗИПы имеют специальный сигнализатор, который при неисправности меняет свой цвет с зеленого на красный.

Стоимость УЗИП для дома сильно варьируется и может составлять от 3 до 50 тысяч рублей за силовой трехфазный прибор в зависимости от класса и производителя. Спешим предостеречь от излишней экономии при выборе устройства. Обилие недорогих предложений низкого качества, за частую китайского производства, может подвигнуть к выбору бюджетного, но вместе с тем не выполняющего свою функцию в решающий момент устройства. Да и экономия 5-15 тысяч рублей может обернуться ремонтом и покупкой нового оборудования на сотни тысяч. Подбор УЗИП – непростая задача, которую лучше доверить специалистам. УЗИП – обязательная

составляющая современной молниезащиты, которая всегда учитывается при разработке любого громоотвода.

Для удобства применения УЗИП делятся на различные типы и классы, обусловленные назначением защищаемой линии (силовые – 220/380В или слаботочные – ТВ, интернет и пр.), максимальным рабочим током молнии и обеспечиваемым уровнем защиты. Существует три класса УЗИП:

- рассчитаны на ток до 60 кА. Принимают грозовой удар и гасят основную часть напряжения, отводя его в землю;
- улавливают и стабилизируют остаточное напряжение до 20 кА, которое не смог погасить УЗИП первого класса;
- рассчитаны на импульсы до 10 кА, защищают высокочастотное оборудование. Устраняют избыточный потенциал, оставшееся в сети после срабатывания устройств первого и второго класса.

Для полноценной защиты зданий и оборудования необходимо комплексно использовать три типа ограничителей напряжения.

Например, силовой УЗИП I класса должен выдерживать ток с силой до 100 кА и предназначен только для защиты от возгорания электропроводки дома. Защиту потребителей электроэнергии такие аппараты не гарантируют. Возможно совмещение нескольких классов в одном устройстве. Например, для частного дома рекомендуется УЗИП I+II+III класса. Такой прибор не только рассчитан на высокий ток молнии, но и защищает от выхода из строя потребители. Внешне устройства защиты от импульсных перенапряжений похожи на автоматические выключатели и чаще всего устанавливаются непосредственно в электрическом щитке дома. В случае, когда места в существующем электрощите не хватает, рядом с ним устанавливается отдельный – предназначенный только для установки УЗИП.

Различают также УЗИП для постоянного тока (для защиты входных цепей солнечных контроллеров и сетевых фотоэлектрических инверторов) и УЗИП для переменного тока (для защиты инверторов и других приборов от наведенных импульсов на линии электропередач переменного тока). Для

упрощения маркетинга УЗИП постоянного тока также называют УЗФЭС (устройства защиты фотоэлектрических станций)

Основным средством защиты от коротких замыканий являются современные автоматические выключатели – устройства, предназначенные для обесточивания участков электросети в случае возникновения на них коротких замыканий и других опасных проблем.

УЗИП делят на три класса, каждый класс предназначен для выполнения своих задач и имеет свои характеристики. Собственно говоря, свой выбор этого устройства стоит начинать именно с выбора подходящего под ваши задачи класса.

Класс 1. Эти УЗИП применяют от защиты от самых больших импульсных перенапряжений, именно они дают защиту от молнии. Рассчитаны на значение тока на пике 10/350 мс. Это значит, что рост тока до максимального значения может произойти за 10 мс, а через 350 мс он упадет на 50%, что обычно и бывает при ударе молнии (прямом). Время это очень малое, другие защитные автоматы просто не успеют среагировать или выйдут из строя. А УЗИП как раз и предназначен как минимум для однократной защиты. Они способны выдерживать токи до 65 кА, есть модели и до 100 кА. Устройства этого класса устанавливают на щитовых больших зданий или на отдельно стоящих частных домах.

Класс 2. Возможности этого класса уже значительно скромнее, они рассчитаны на значение тока на пике 8/20 мс, при этом разрядный ток не выше 40 кА. Этого уже будет недостаточно для эффективной защиты от прямого попадания молнии, но остаточных разрядов и импульсных перенапряжений другого характера, они вполне защищают. Устанавливают их в местные распределительные щиты, например, в квартире.

Класс 3. Аналогичны предыдущему, однако сила тока, которую он выдерживает, не превышает 10 кА. Этот тип устанавливается непосредственно в электроприборы, удлинители и сетевые фильтры и служит для защиты от остаточных импульсных перенапряжений, которых не

погасились УЗИП 1 и 2 класса. Конечно, есть они не во всех электроприборах, но, если это дорогая и чувствительная электроника, то их устанавливают. То есть, это как последний защитный барьер, который защищает от того, что может прорваться.

Разумеется, оптимальный вариант подразумевает использование системы из устройств всех классов, только это может дать абсолютную защиту. Хотя, для частного дома или дачи ограничиваются УЗИП 1 или 2 класса, но, напомним, от прямого попадания молнии второй класс не защищает. Возможно, именно с этим и связаны мнения, что мол устройство защиты от импульсных перенапряжений не всегда может защитить. Но, скорее всего, дело было просто в том, что оно и изначально не было для этого предназначено.

Главное условие, при котором установка защитных устройств будет иметь смысл – устройство качественного заземления. От типа системы заземления будут зависеть схемы интеграции УЗИП в сеть. Второе обязательное условие – установка автомата выключения, который будет отключать УЗИП после его срабатывания, для осуществления бесперебойного электроснабжения сети.

Системы заземления классифицируются и обозначаются: TN-S, TN-C, TNC-S, IT, TT – по международному классификатору. В разных системах используются различные сочетания коммутирования с нейтральным проводником источника (N – нейтраль), землей (T – terra или земля), видами изоляции (I – изоляция).

При этом зануляющие проводники маркируются по стандарту следующим образом: N – нулевой проводник рабочий, PE – нулевой проводник, выполняющий защитную функцию, PEN – проводник, совмещающий обе функции. Разные заземляющие системы применяются при устройстве электроснабжения объектов с разным функциональным назначением – многоквартирных домов, промышленных предприятий, медицинских учреждений и т.д.

Некоторые системы, типа TN-C, сохранились только в составе систем электроснабжения старого жилого фонда и уличного освещения и при новом строительстве не применяются. Это связано с существенными недостатками – опасностью потери работоспособности при разрыве или сгорании зануляющего проводника.

Для защиты индивидуальных жилых домов, которые подключаются к магистральным сетям с помощью воздушных линий, положительно зарекомендовала себя заземляющая система TT. Схема системы TT характеризуется следующими решениями: глухим заземлением нейтрального проводника от источника питания, 4-мя проводами подачи 3-фазного напряжения, при этом 4-й провод – N – играет роль зануляющего. Заземлитель подключается со стороны потребителей и соединяется с защитными проводниками PE, которые связаны с корпусами электроприборов [14].

Для монтажа УЗИП в частном доме необходимо соблюсти 2 основных условия:

- наличие системы заземления. При этом от его типа будет зависеть разновидность самого устройства;
- наличие автомата, отключающего УЗИП при срабатывании, для обеспечения бесперебойности электроснабжения дома.

При этом прибор защиты от перенапряжений в электроцепи частного дома должен монтироваться по следующей схеме:

- на вводе устанавливается автоматический выключатель для защиты счетчика и внутренней цепи щитка;
- между прибором учета и автоматом располагается УЗИП с собственной защитой;
- далее по схеме идет счетчик.

Самыми распространенными ошибками, снижающими функциональность УЗИП или делающие его бесполезным, являются –

плохой заземляющий контур, не соответствие устройства типу заземления и применение прибора класса, не соответствующего месту в схеме.

Устройство защиты от импульсных перенапряжений защищает электросистему дома от скачков напряжения. Возникающий при этом ток большого номинала отводится в контур заземления, не причиняя домашнему оборудованию вреда. В зависимости от места в схеме УЗИП подразделяется на 3 класса.

Наиболее частыми причинами перенапряжения сети становятся:

- разряд молнии;
- ошибки электромонтажников;
- повреждение нейтрального провода;
- неправильные соединения в электрощитке дома.

Рассмотрим некоторые распространенные ошибки при подключении устройств защиты:

- плохое заземление: перед монтажом УЗИП необходимо удостовериться в надёжности заземления – оно должно выдерживать сбрасываемые на него импульсы и быть в исправном состоянии, иначе в первой же грозе сгорит, потянув за собой на тот свет всю электрощитовую;
- ошибка в схеме подключения: устройство надо ставить со знанием схемы заземления, используемой в щитке. Если такого знания нет, лучше доверить монтаж специалисту, обслуживающему домовые электролинии, либо максимально близко знакомого с ними;
- не тот класс, не в том месте: есть несколько классов УЗИП, и каждый из них предназначен для определённых типов щитовых. Неправильный подбор устройства может стоить жизни домашней технике.

Несмотря на состояние современных энергосетей, с их перебоями, устаревшей проводкой, и прочими радостями страны третьего мира, мы

продолжаем использовать технику. И что бы ни случилось, можно надеется, в том числе, на окружающие защитные механизмы.

Нередко причиной порчи электропроводки, бытовой техники и оборудования становится резкий скачок напряжения в сети. Самый простой и надежный способ защиты от такого рода событий является установка специального УЗИП для частного дома. Разберем, что собой представляет такое устройство, как оно действует и в чем его назначение, какие его разновидности существуют, почему может происходить скачки напряжения в сети, как правильно выбрать прибор для собственного жилья, а также в чем заключаются основные особенности его установки.

Все нетоковедущие металлические части электрооборудования подлежат заземлению путем металлического соединения с нулевым защитным проводником сети.

Групповые сети, питающие общее освещение и штепсельные розетки, предусмотрены однофазными трехпроводными с прокладкой самостоятельного нулевого защитного проводника [18].

Распределительные сети предусмотрены трехфазными пятипроводными с прокладкой самостоятельного нулевого защитного проводника, начиная от распределительного устройства.

С целью уравнивания потенциалов в электрощитовой устанавливается главная заземляющая шина (ГЗШ), а по техподполью прокладывается магистраль, являющаяся продолжением главной заземляющей шины к которой подсоединяются все входящие в здание металлические трубопроводы, заземлитель устройства повторного заземления нулевого провода. Соединения выполняются стальной полосой сечением 25x4 мм. ГЗШ и магистраль изготавливается из стали сечением 8x50 мм.

Система защиты от симметричных нагрузок должна иметь более низкое быстродействие, по сравнению с быстродействием основных средств защиты трансформаторов от перегрузки. Экспериментальным и опытным

путями было установлено, что оптимальная величина задержки срабатывания системы защиты от несимметричных нагрузок составляет примерно 9 с.

Схема организации средств защиты приведена на соответствующем чертеже в графической части работы.

Основными и дополнительными средствами защиты рабочего персонала от воздействия электрического тока и напряжения является комплекс аппаратов, приборов и приспособлений, которые предназначены для обеспечения безопасности рабочих при работе с электроустановками.

Средства защиты рабочего персонала от поражения электрическим током принято классифицировать следующим образом:

- специальное оборудование и инструмент, которые предназначены для их применения по назначению в условиях прямого воздействия напряжения. К этим инструментам относятся: изолирующие штанги, захваты и т.д.;
- приспособления и оборудование, предназначенное для изоляции работающего от токоведущих частей и поверхностей. К этим инструментам относятся: изолирующие клещи, резиновые диэлектрические перчатки и т.д.;
- мобильные и передвижные средства изоляции работающих от токоведущих частей.

Средства изоляции и электрической защиты имеют следующую классификацию: основные средства и дополнительные средства.

Проведение первичных и периодических инструктажей по правилам безопасности труда является основным инструментом, с помощью которого обеспечивается безопасность рабочего персонала при его взаимодействии с системами электроснабжения. Персонал, который принимается на работу, должен быть в обязательном порядке проинструктирован о потенциальных опасных производственных факторах, об особенностях рабочего распорядка, о правилах соблюдения производственной санитарии. Также вновь принятый работник обязан ознакомиться с требованиями охраны труда и пожарной

безопасности на предприятии. Он должен знать правила пользования средствами защиты, а также правила оказания первичной помощи пострадавшим в случае ЧП. Также для работника необходимо организовать прохождение инструктажа по правилам безопасности непосредственно на его рабочем месте.

Правилами и нормативно-правовыми документами установлена периодичность прохождения всеми сотрудниками предприятия повторных периодических инструктажей по соблюдению мер безопасности при проведении работ. Такие инструктажи должны проводиться не реже, чем один раз в полгода. Для рабочего персонала, который осуществляет особо опасные работы, периодичность таких инструктажей составляет один раз каждые три месяца. Факт прохождения рабочими инструктажа по требованиям безопасности фиксируется в специальных журналах.

В процессе воздействия на человека электрического тока, в его организме происходят процессы, которые приводят к травмам и поражениям. В зависимости от рода и силы действующего тока могут иметь место различные травмы и повреждения.

В результате непосредственного контакта с токоведущими поверхностями происходит поражение электрическим током. Непосредственный контакт является следствием нарушения изоляции.

Также электрооборудование может создать опасность возникновения пожара в случае возникновения КЗ, либо при превышении допустимых значений электрической мощности подключаемого оборудования.

Порог чувствительности электрического тока переменной частоты 50 Гц для человеческого тела составляет 0,6-1,5 мА. В случае постоянного тока порог чувствительности составляет 5-7 мА. Непроизвольное сокращение мышц наблюдается при силе переменного тока 10 мА, при постоянном токе сокращения мышц начинаются при 60-80 мА. В этом случае человек не может самостоятельно разжать мышцы для того, чтобы разорвать электрическую цепь. При более высоких величинах электрического тока

наблюдается паралич мышц и нарушение дыхания. Дальнейшее увеличение электрического тока приводит к нарушению работы сердечной мышцы и легких. Ток величиной 100 мА и более приводит к полному параличу легких и сердца. Сердце полностью поражается в течение времени от 2 до 4 секунд.

Случайное прикосновение к токоведущим частям - основная причина поражения электрическим током. Следовательно необходимо свести к минимуму вероятность этого. С этой целью на производстве необходимо обеспечить ограниченный доступ к токоведущим частям. Для этого их рекомендуется располагать в труднодоступных местах - например на высоте.

Все распределительное и коммутационное оборудование должно размещаться в специальных шкафах и ящиках, которые имеют корпуса, не проводящие электрический ток. Также они должны размещаться в обособленных зонах и помещениях, доступ к которым ограничен. С целью защиты рабочего персонала защитными кожухами должны быть оснащены все аппараты пуска и остановки оборудования и контакты электродвигателей и прочих электроприемников.

К электропроводке предъявляются следующий перечень основных требований [15]:

- электропроводка должны соответствовать тем условиям окружающей среды, в которых она эксплуатируется;
- при прокладке электрической проводки следует выбирать такой способ, который обеспечивает максимальный уровень электрической и пожарной безопасности;
- оболочка прокладываемых проводов и кабелей должна соответствовать конкретным природным условиям и обеспечивать соблюдение требований прокладки электрической сети выбранным способом.

Помещения должны быть предусмотрены проектной документацией на объект.

Вывод по разделу 7.

В седьмом разделе выпускной квалификационной работы произведен выбор устройств релейной защиты и автоматики.

В качестве пусковой аппаратуры для оборудования, принимаются пускатели типа ПВИ, ПРН и автоматические выключатели типа ВРН. Защита отходящих линий напряжением 10 кВ предусмотрена на базе устройства защиты и управления REF 542plus.

Исходя из анализа характеристик и преимуществ разрядников, для защиты трансформаторной подстанции от перенапряжений на стороне 10 кВ выбираем ограничитель перенапряжений ОПН – РТ/TEL.

Исходя из этого, ВРУ необходимо разместить в помещении электрощитовой. Необходимо установить два вводно-распределительных устройства.

Центр нагрузки располагается в пределах здания. Следовательно, ВРУ необходимо расположить именно в этих координатах. Конструктивные особенности здания не позволяют разместить ВРУ именно в этом месте. Окончательно местом расположения ВРУ принимается помещение щитовой

8 Расчет заземления и молниезащиты подстанции

Исходные данные для расчёта приведены в таблице 3-11.

Сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R_3 = 0.433 \cdot \frac{\rho_2}{\sqrt{A}} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^g + \frac{\rho_1}{L + N \cdot l_e}, \quad (12)$$

где ρ_1 – удельное сопротивление верхнего слоя грунта, Омм;

ρ_2 – удельное сопротивление нижнего слоя грунта, Омм;

Определяем сопротивление заземляющего устройства по формуле (12):

$$R_3 = 0.433 \cdot \frac{50}{\sqrt{756.7}} \cdot \left(\frac{500}{50} \right)^{0.023} + \frac{500}{116.9 + 4 \cdot 36.5} = 2.732 \text{ Ом.}$$

Напряжение прикосновения определяется по формуле:

$$U_{np} = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_n \cdot \beta_n, \quad (13)$$

где α_n и β_n – коэффициенты напряжения прикосновения;

I_3 – ток замыкания.

В соответствии с ПУЭ, ток замыкания, А, находится по формуле:

$$I_3 = 1.25 \cdot I_{\text{раб.реакт}}, \quad (14)$$

где $I_{\text{раб.реакт}}$ – рабочий ток дугогасящего реактора, А.

$$I_3 = 1.25 \cdot 30 = 37.5 \text{ А,}$$

$$\alpha_n = M \cdot \left(\frac{a \cdot \sqrt{A}}{l \cdot L} \right)^{0.45}, \quad (15)$$

где $M = 0.82$ – параметр зависящий от отношения ρ_1 / ρ_2

$a = \frac{P}{N}$ – расстояние между вертикальными заземлителями, м

$P = 116.9$ м – периметр заземлителя;

$$a = \frac{116.9}{4} = 29.23 \text{ м}$$

$l = 5$ м – длина вертикального заземлителя

$$\alpha_n = 0.82 \cdot \left(\frac{29.23 \cdot \sqrt{756.7}}{5 \cdot 116.9} \right)^{0.45} = 0.947$$

$$\beta_n = \frac{R_q}{R_q + 1.5 \cdot \rho_1}, \quad (16)$$

где $R_q = 1000$ Ом – сопротивление человека;

$$\beta_n = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot 500} = 0.767$$

Определяем напряжение прикосновения по формуле (13):

$$U_{np} = 37.5 \cdot 2.732 \cdot 0.947 \cdot 0.767 = 74.4 \text{ В.}$$

Схема поясняющая размеры вертикального проводника приведена на рисунке 3.

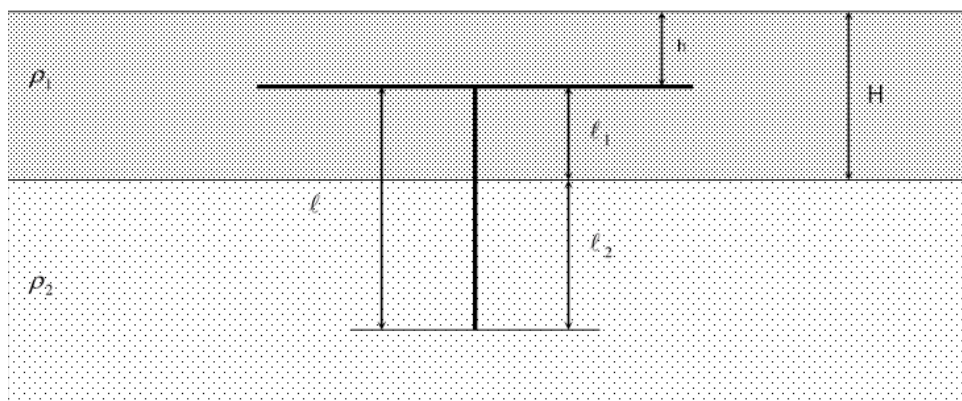


Рисунок 3 – Схема поясняющая размеры l_1 и l_2 вертикального проводника

Потенциал заземлителя определяется по формуле:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3 \quad (17)$$

Схема заземляющего устройства приведена на рисунке 4.

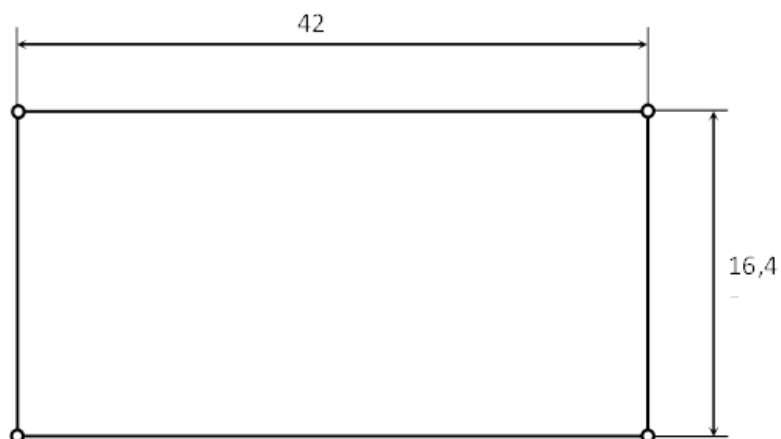


Рисунок 4 – Схема заземляющего устройства ЗРУ 10 кВ

Определяем потенциал заземлителя по формуле:

$$\varphi_3 = 37.5 \cdot 2.732 = 102.45 \text{ В};$$

$$U_{\text{дон}} = 36 \text{ В} < U_{\text{нр}} = 74.4 \text{ В};$$

$$\varphi_3 = 102.45 B < \varphi_{дон} = 125 B ;$$

$$R_3 = 2.732 Ом < R_{дон} = 4 Ом .$$

Из неравенств, видно, что проектируемое заземляющее устройство удовлетворяет первому требованию нормируемых параметров.

Вывод по разделу 8.

В восьмом разделе выпускной квалификационной работы произведен расчет заземления и молниезащиты подстанции.

В ходе расчета определены сопротивление заземляющего устройства, параметры вертикальных заземлителей. Разработана схема заземляющего устройства ЗРУ 10 кВ.

В ходе проверки расчетных параметров было установлено, что проектируемое заземляющее устройство удовлетворяет первому требованию нормируемых параметров.

Заключение

Современные потребители электрической энергии (различное производственное оборудование, бытовые электроприборы, медицинская аппаратура и т.д.) очень чувствительны к качеству электрической энергии. Задача производства высококачественной электрической энергии, которая соответствует всему комплексу требований, является весьма актуальной.

Практически все оборудование и приспособления, которыми ежедневно пользуется современный человек, представляет собой электрооборудование. Таким образом, уровень качества и комфорта жизни современного общества очень сильно зависит от наличия качественной электрической энергии с требуемыми показателями качества.

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены условия построения ЗРУ напряжением 10 кВ исследуемой подстанции с целью подключения дополнительных потребителей. Выполнены все разделы в соответствии с требованиями, сформулированными в задании. Для закрытого распределительного устройства 10 кВ была предложена схема «одиночная секционированная выключателем система шин». ЗРУ 10 кВ планируется оборудовать ячейками комплектного распределительного устройства UniGear типа ZS1 с вакуумными выключателями VD4 12 выпускаемые фирмой «ABB».

Была произведена замена трансформаторов мощностью 10 и 16 МВА на трансформаторы 25 МВА с последующим расчётом, выбором основного и проверки существующего электрооборудования подстанции.

В ходе выполнения работы были рассчитаны токи трехфазного КЗ на шинах ОРУ напряжением 110 кВ и ЗРУ напряжением 10 кВ.

Использование новых технологий и современного оборудования при реконструкции обеспечит высокую надежность работы этой подстанции, а также безопасность с точки зрения обслуживания и экологии.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Акимцев Ю.И., Веялис Б.С. Электроснабжение сельского хозяйства. М: "Колос", 2017. 165 с.
2. Будзко И.А., Зуль Н.М. Электроснабжение. М.: Агропромиздат, 2019. – 496 с.
3. Водяников В. Т. Организационно-экономические основы сельской энергетики: Учебное пособие. М.: МГАУ, 2018. 132 с.
4. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: Учебное пособие. М.: Нов.знание, НИЦ ИНФРА-М, 2018. 271 с.
5. Ерошенко Г. П., Медведко Ю. А., Тарасов М. А. Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. Учебник. Ростов-на-Дону: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2017. 185 с.
6. Кисаримов, Р.А. Монтаж электрооборудования: Справочник. М.: РадиоСофт, 2017. 568 с.
7. Кисаримов, Р.А. Монтаж электрооборудования. М.: РадиоСофт, 2019. 568 с.
8. Коломиец, А.П., Н.П. Кондратьева Монтаж электрооборудования и средств автоматизации. М.:Колос С, 2017. 351 с.
9. Коновалова Л. А., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: "Энергоатомиздат", 2019. 230 с.
10. Костенко, Е.М. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного и бытового электрооборудования: Практ.пос. М.: НЦ ЭНАС, 2018. 320 с.
11. Луковичков А.В. Охрана труда. М.: Колос, 2018. 423 с.
12. Луковников А.З., Милько П.И. Охрана труда. М.: "Агропромиздат", 2018. 433 с.
13. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Правила безопасной организации работ оперативного персонала

электроустановок / – Электрон. текстовые данные. М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, Альвис, 2013. 800 с.

14. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 2018. 450 с.

15. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд., перераб.и доп. М.: Энергоатомиздат, 2019. 343 с.

16. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации – Электрон. текстовые данные. М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2017. 348 с.

17. Справочник инженера-электрика. Учебное пособие. М.: Информагротех, 2017. 536 с.

18. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Под общ. ред. П.А. Каткова и В.И. Франкуляка М.: Энергия, 1998. 345 с.

19. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2т. Т.1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. М.: Энергоатомиздат, 2016. 568с.

20. Шеховцов В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 214 с.

21. Юндин М.А. Токовые защиты электрооборудования. Зеленоград: РИО ФГОУ ВПО АЧГАА, 2018. 212 с.

22. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общ. ред. Профессоров МЭИ : В. Г. Герасимова и др. М. : МЭИ, 2019. 440 с.