Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра Техники, технологий и строительства

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____К.М. Виноградов
_____2020 г.

Модернизация главной понижающей подстанции блочного распределительного пункта БРП-АТ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 13.03.02.2020.169 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
к.т.н., доцент
_____ А.В. Прохоров
_____2020 г.

Автор работы -
студент группы ДО-503
_____ А.Г. Харламов
_____2020 г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____2020 г.

Челябинск 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6
1 ОБЗОР ГЛАВНОЙ ПОНИЖАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ 7
1.1 Общее устройство БРП-АТ 8
1.2 Релейная защита, автоматика и вторичная коммутация 9
1.3 Заземление и молниезащита 10
1.4 Мероприятия по технике безопасности 10
2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 12
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МОДЕРНИЗАЦИИ ГПП
3.1 Определение электрической нагрузки 15
3.2 Выбор кабелей на напряжение 10 кВ 16
3.3 Расчет сопротивлений 18
3.4 Расчет токов короткого замыкания 19
3.5 Выбор выключателей и разъединителей 21
3.6 Расчет релейной уставки и выбор микропроцессорного устройства защиты 24
3.7 Проверка кабельной линии по термической стойкости 28
3.8 Экономический расчет и сравнение вариантов 28
3.9 Безопасность жизнедеятельности
3.9.1 Действие электрического тока на человека 30
3.9.2 Требование к обслуживающему персоналу 32
3.9.3 Оперативное обслуживание 33
3.9.4 Заземление 34
3.9.5 Молниезащита БРП-АТ 37
3.9.6 Освещение БРП-АТ 37
3.9.7 Пожарная безопасность 37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 40
ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А Расчет токов короткого замыкания и выбор релейной защиты 41
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Схема электроснабжения 10 кВ 42
ПРИЛОЖЕНИЕ В Схема электрическая принципиальная. Камера КСО с микропроцессорной защитой Sepam 1000+ S20 43
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Локальный сметный расчет 44

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Модернизация главной понижающей подстанции связана с обновлением устаревшего оборудования, что улучшает показатели по экономичности, качеству электроснабжения и уменьшению затрат на обслуживание и ремонт оборудования.

Целью выпускной квалификационной работы является введение модернизации оборудования и выбор микропроцессорного терминала для релейной защиты и автоматики.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- обзор выбранного оборудования;
- определение электрической нагрузки потребителей;
- выбор устройства высшего напряжения УВН;
- выбор релейной защиты и автоматики на основе микропроцессорных терминалов фирмы «Шнайдер Электрик»;
- экономический расчет и сравнение выбранного оборудования БРП-АТ.

Объектом выпускной квалификационной работы: является электротехническое оборудование блочного распределительного пункта БРП-АТ.

Предметом выпускной квалификационной работы является модернизация главной понижающей подстанции.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы состоит в том, что в результате произведенных расчетов, планируется уменьшить затраты на ремонт и обслуживание оборудования, сократить возникновения аварийных ситуаций, улучшить качества электроэнергии.

А так же повысить надежность бесперебойного электроснабжения потребителей путем замены морально устаревшего оборудования.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, пяти разделов, заключения и библиографического списка. Раздел 1 посвящен обзору оборудования, применяемые на БРП-АТ. В разделе 2 описываются имеющиеся российские и зарубежные аналоги вакуумного выключателя и микропроцессорных терминалов, и их отличительные характеристики. Раздел 3 состоит из определения электрических нагрузок, проверки кабельных линий по термической стойкости и экономической, расчет и выбор релейной защиты, также включает в себя сметно-финансовый расчет по модернизации главной понижающей подстанции распределительного пункта БРП-АТ и описывает влияние электрического тока на организм человека, требования, предъявляемые к персоналу при эксплуатации и ремонте электроустановок, оперативное обслуживание, расчет необходимого освещения, заземляющего контура и молниезащиты, выбор количества огнетушителей.

Объем выпускной квалификационной работы составляет 44 страниц машинописного текста и содержит 4 иллюстраций, 10 таблиц, библиографический список из 16 наименований и 4 приложений.

1 ОБЗОР ГЛАВНОЙ ПОНИЖАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

Модернизация главной понижающей подстанции была введена в связи с расширением производства и введения новых технологий в лабораторном комплексе.

Модернизация подстанции производится для реализации следующих целей:

- уменьшение потерь при передаче электроэнергии и повышения качества электроэнергии;
- повышение надежности и обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергией;
- усовершенствования системы учета параметров электроэнергии путем введения нового оборудования учета;
- усовершенствования защиты от ненормальных режимов работы электрооборудования подстанции;
- уменьшение вероятности возникновения аварийных ситуаций на подстанции;
- уменьшение объема ремонтов электрооборудования и увеличения срока службы подстанции путем замены морально устаревшего оборудования современным.

Электроснабжение систем вентиляции, кондиционирования, электроосвещения, технологического контроля и управления, средств связи и сигнализации, установки автоматического пожаротушения предусмотрено от 2КТПП−1600/10/0,4 (с учетом перегрузки).

По степени обеспечения надежности электроснабжения электроприемники относятся I категории.

Снабжение потребителей электроэнергией производится от двух независимых источников питания. При исчезновении напряжения на одном из источников производится автоматическое переключение на питание нагрузки от второго источника. Переключение производится автоматическими выключателями резерва (АВР). При срабатывании этих механических переключателей, время отсутствия напряжения (период, в течение которого нагрузка остается без электропитания) составляет 10−3000 мс. [1].

Электрические щиты, применяемые в данной работе, укомплектованы аппаратами фирмы «Шнайдер Электрик».

Распределительные и групповые сети выполнить кабелями с медными жилами марок ВВГнг-LS, ВВГнг-FRLS, КГВЭВнг, ПвВнг(А)-LS, ПвВГЭнг(А)-LS.

В целях обеспечения безопасности должно быть обеспечено распознавание проводников по цветам, в соответствии с ГОСТ Р 50462−2009 (МЗК 60U6−2007) «Идентификация проводников посредством цветов и буквенно-цифровых обозначений».

В электроэнергетической, как и во многих других отраслях, на сегодняшний день остро стоит вопрос о модернизации сетей и подстанций.

Оборудование, установленное 25−30 лет назад, выработало свой ресурс на 100 %. Нынешняя его работоспособность, во многом сохраняется за счет того, что оборудование было изготовлено с многократным запасом по прочности.

Высоковольтные выключатели масляные исчерпали свой коммутационный ресурс. Запасных частей, которые подлежат замене при средних и расширенных текущих ремонтах сегодня, практически никто не выпускает.

На смену масляным выключателям приходят выключатели дугогасящей средой, в которых служат элегаз и вакуум.

Габариты такого оборудования намного меньше, а обслуживание заключается только в наблюдении за их работой. Кроме того, новые выключатели не требуют текущих ремонтов. Таким образом эксплуатационные затраты снижаются в разы.

Измерительные трансформаторы, работающие на многих подстанциях и сегодня, зачастую, не удовлетворяют требованиям по классу точности. «ТФЗМы» и «НКФы» много лет прослужившие на подстанциях, морально и физически устарели. Современные измерительные трансформаторы выпускаются в герметичном исполнении, при этом сразу решается проблема с обслуживанием воздухоосушительных фильтров и постоянно загрязняющихся масломерных стекол.

Современные тенденции ведут к уменьшению габаритов всего, что производится и энергетика не стала исключением. С применением в производстве новых высокотехнологичных материалов, стало возможным уменьшение габаритов оборудования.

Перед современными производителями оборудования стоит задача, производить продукцию, которая не требует обслуживания, для снижения эксплуатационных затрат. В целом модернизация ведет к сокращению участия человека в производстве, передаче и потреблении электроэнергии.

1.1 Общее устройство БРП-АТ

БРП-АТ производства ПКФ «Автоматика» представляет собой отдельно стоящее здание, состоящее из нескольких железобетонных блокад. Каждый блок имеет надземную (блок-модуль) и подземнно-цокольную части в виде объемных железобетонных конструкций.

Подземно-цокольная часть предназначена для ввода кабельных линий, прокладки и подключения кабельных перемычек и представляет собой сборную конструкцию из железобетонных плит, которая заглубляется в землю и устанавливается на подготовленную фундаментную площадку. Подземно-цокольную часть для обеспечения гидроизоляции покрывают битумной мастикой.

Блок-модуль предназначен для размещения электрооборудования и представляет собой сборную конструкцию из железобетонных плит. Блок-модули

устанавливаются сверху на подземно-цокольные части. Для доступа в подземно-цокольные части предусмотрены люки и лестницы [2].

Схема электроснабжения предусматривает электрооборудование распределительного пункта наружной установки в железобетонных блоках БРП-АТ-10 УХЛ1. По пропускной способности питающих линий оборудование РП выбрано на 1000 А.

УВН принято одностороннего обслуживания с камерами КС0-298АТ-М с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10. На напряжении 10 кВ принята одинарная, секционированная вакуумным выключателем на две секции, система сборных шин.

Питание БРП-АТ осуществляется от ГПП по двум кабельным линиям. На каждой секции предусмотрено подключение 5 отходящих линий.

Для питания собственных нужд предусматривается установка трансформаторов ТМГ-25-10/0,4 собственных нужд мощностью 25 кВА и шкаф собственных нужд с ИБП заводского изготовления, для подключения шинок оперативного тока, цепей освещения, обогрева РП, аварийной вентиляции.

Питание цепей оперативного тока осуществляется переменным током 220 В от трансформаторов собственных нужд.

Измерение и учет электроэнергии в БРП предусматривается установка следующих измерительных приборов:

- счетчики активной и реактивной электроэнергии на отходящих линиях 10 кВ СЭТ-UTM;
- вольтметры с переключателем напряжения на каждой секции шин 10 кВ;
- амперметры на питающих и отходящих линиях и секционном выключателе.

1.2 Релейная защита, автоматика и вторичная коммутация

Для включения и отключения вакуумного выключателя в камерах КСО-298АТ-М установлен блок управления БУ/TEL-100/220-12-03А.

Управление приводами выключателей предусмотрено ключами управления, расположенными на фасадах камер.

Релейная защита и автоматика предусмотрена в следующем объеме:

- на рабочей питающей линии автоматика выполнена с помощью устройства микропроцессорной защиты Sepam S20;
- на отходящих линиях защита выполнена с помощью Sepam S20;
- на секционном выключателе защита и автоматика выполнена с помощью Sepam S20;
- в ячейках трансформаторов напряжения установлены устройства микропроцессорной защиты Sepam B21.

Автоматический ввод резерва предусмотрен в следующем объеме: АВР шин обеспеченного питания собственных нужд РП.

АВР на секционном выключателе РП, срабатывающий при исчезновении напряжения на одной из секций. При этом вначале отключаются выключатели соответствующего ввода, затем включается секционный выключатель [3].

1.3 Заземление и молниезащита

Сопротивление заземляющего устройства в любое время года с учетом сопротивления всех присоединенных естественных заземлителей должно быть не более 4 Ом и удовлетворять требованиям п.п. 1.7.96, 1.7.100, 1.7.101 ПУЭ седьмого издания [4].

Заземляющее устройство выполняется углубленными заземлителями из полосовой стали 40×5 мм, укладываемой на дно котлована по периметру здания, с дополнительными вертикальными электродами из угловой стали 50×50×5 мм, длиной 1,5 м.

Углубленный заземлитель соединен стальной полосой 40×5 мм с магистралью заземления, проложенной внутри здания, в двух местах.

Внутренний контур заземления БРП-АТ выполняется на заводе изготовителе и имеет элементы для связи с внешним контуром заземления.

Специальных мер по молниезащите БРП не требуется, так как металлическая арматура каркаса имеет жесткую металлическую связь с внутренним контуром заземления, что соответствует РД34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений», п.п. 2.134 ПУЭ [4].

Для снижения дуговых и коммутационных перенапряжений устанавливаются ограничители перенапряжений ОПН-РТ/TEL-10/11,5 в камерах 10 кВ.

1.4 Мероприятия по технике безопасности

Мероприятия по технике безопасности предусмотрены в работе в объеме действующих правил эксплуатации электроустановок потребителей.

Для предотвращения неправильных операций при обслуживании и ремонте в РУ 10 кВ предусмотрены следующие мероприятия:

- механическая блокировка от ошибочных операций в пределах каждой камеры КСО, выполняемая заводом-изготовителем;
- возможность запирания всех приводов разъединителей заземляющих ножей сборных шин электромагнитными замками;
- оперативная блокировка неправильных действий при переключении в электрических установках, предназначенная для предотвращения неправильных действий с разъединителями, заземляющими ножами, в соответствии с требованиями пункта 4.2.27 ПУЭ [4];

- окраска в красный цвет рукояток приводов заземляющих ножей и замков, запирающих эти привода и в черный цвет рукояток заземляющих ножей разъединителей.

Также предусмотрен комплект основных защитных средств по технике безопасности. Дополнительные защитные средства должны быть установлены в РП в соответствии с местными инструкциями по технике безопасности.

При производстве работ руководствоваться ПУЭ и СНиП.

В комплект БРП-АТ входит следующее оборудование:

- распределительное устройство высшего напряжения (УВН);
- устройство АВР;
- шкаф наружного освещения;
- шкаф тепловой защиты и вентиляции;
- шкаф аварийного питания;
- шкаф собственных нужд с ИБП;
- шкаф центральной сигнализации;
- соединительные кабели, шины, провода;
- стойка с индивидуальными средствами защиты от поражения электрическим током [5].

Взаиморезервируемые кабели ПвПу-2(3×120) отГПП-1 до БРП-АТ-10 проложен по разным сторонам тоннеля по кабельным конструкциям.

Взаиморезервируемые кабели ПвПу-3×95 от БРП-АТ-10 доКТП-3. КТП-4 и КТП-5 проложен в траншее. В здании прокладку кабелей выполнить в трубах.

Взаиморезервируемые кабели ПвПу-3×95 от БРП-АТ-10 до КТП-6 и КТП-7 проложить в тоннеле по кабельным конструкциям. В траншее и в коробах по фасаду здания. В здании прокладка кабелей выполнена по кабельным конструкциям.

Для заземления внутреннего контура системы уравнивания потенциалов производственного здания предусмотрено устройство глубинных заземлите.

Для кабелей, проложенных в металлических коробах, согласно пункту 284 «Правил пожарной безопасности» ППБ 01-03 выполнить уплотнение вводов кабелей в здания, сооружения и трубы фетром и материалом Огракс. На горизонтальных участках кабельных коробов через каждые 30 м установить огнезащитные пояса из муллитокремнеземистого фетра и огнезащитного материала Огракс. Места установки огнезащитных поясов обозначить красными полосами на наружных стенках коробов.

2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На сегодняшний день в области энергетики мы можем наблюдать качественное развитие технологий и методических решений, направленных на улучшение качества электроснабжения потребителей. Многие технические решения и методы заимствуются у зарубежных стран, так как на сегодняшний день во многих странах Северной Америки и Западной Европы электроэнергетика завита значительно лучше. К примеру, во многих странах с развитой энергетикой, отсутствует оперативный персонал как класс. Это связано с тем, что глубоко внедрена автоматизация процессов. Все оперативные переключения производятся автоматически, без участия человека.

Защиты линий и оборудования выполняются на цифровых устройствах имеющих связь с центральным (головным) звеном. Данная тенденция наблюдаются и в отечественной энергетике, внедряется новое оборудование, выполненное по международным стандартам и не чем не уступающее зарубежным аналогам. Для примера такого оборудования можно привести реклоузер PBA/TEL выпускаемый фирмой «Таврида электрик». Это вакуумный выключатель, предназначенный для оперативных переключений в линиях 6−10 кВ и имеет широкий спектр возможностей.

Эта аппаратура только начинает внедряться, но уже очень хорошо себя зарекомендовала и можно прогнозировать ее дальнейшее распространение на рынке. В Соединенных штатах аналогичная аппаратура вводится уже давно и за это время стала неотъемлемой частью энергосистемы. Что позволило им в свою очередь отказаться от оперативного персонала, в пользу автоматизации процессов и устранения человека от оперативных переключений.

Сравнивая пути развития отечественной и зарубежной электроэнергетики, можно с уверенностью сказать, что данный вид аппаратуры будет и дальше успешно внедряться.

Практика использования отечественных и зарубежных микропроцессорных устройств, осуществляющих защиту, автоматику и управление элементами 10 кВ подстанций и промпредприятий, показывает необходимость адаптации цифровых защит для конкретных задач.

В России микропроцессорные устройства для потребителей 6(10) кВ (отходящие линии, вводы, секционные выключатели и т. д.) начали использоваться на энергетических объектах в середине девяностых годов. В те годы поставщиками терминалов были фирмы АББ Реле-Чебоксары (устройства серии SPAC-800) и НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург (устройства БМРЗ), чуть позже появились цифровые устройства «Сириус-2» разработки НПФ «Радиус», г. Зеленоград. В самом конце прошлого века на российский рынок

вышла компания «Шнайдер Электрик» с устройствами Sepam-2000, а затем – Sepam-1000+ серии 20.

Использование современной микропроцессорной элементной базы ведет к значительному снижению массогабаритных показателей, обеспечивает высокую точность измерений, постоянство характеристик, что позволяет повысить чувствительность, быстродействие и селективность защит.

Основные характеристики цифровых устройств лучше по сравнению с электромеханическими реле:

- более высокий коэффициент возврата, близкий к 0,98;
- малое потребление мощности от трансформаторов тока и напряжения (на уровне 0,1…0,5 ВА);
- практически независимо от количества функций небольшое потребление от сети оперативного тока – порядка 10–20 Вт.

Однако некоторые характеристики цифровых защит остались на том же уровне, что и у электромеханических и электронных прототипов, например, собственное время срабатывания измерительных органов.

Преимуществом микропроцессорной техники является и то, что наличие различных интерфейсов связи позволяет интегрировать устройства в систему АСУ, что дает возможность иметь оперативную информацию о состоянии различных элементов схемы, управлять выключателями, настраивать РЗА, получать данные об аварийной ситуации, осциллографировать и т. д. Возможность фиксации текущих значений контролируемых токов и напряжений позволяет более четко анализировать аварийные ситуации.

В настоящее время примерно 80 % ячеек КСО и КРУ 6(10) кВ изготавливаются с микропроцессорными устройствами, а выпуск ячеек КРУ среднего напряжения с электромеханическими реле с каждым годом сокращается.

Сегодня на российском рынке для КРУ широко представлены следующие типы микропроцессорных устройств отечественных компаний:

- «Сириус-2», «Сириус-21» – ЗАО «Радиус Автоматика», г. Зеленоград;
- SPAC-800, SPAC-810 – «АББ-Автоматизация», г. Чебоксары;
- «БМРЗ» – НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург;
- «ТЭМП-2501-1Х» – ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары;
- «БЭМП-1» – ОАО «ЧЭАЗ», г. Чебоксары;
- «БЭ2502А» – ООО НПТ «ЭКРА», г. Чебоксары;

Среди терминалов зарубежного производства наиболее известны:

- SEPAM 1000+ серииS40, S80 – «Шнайдер Электрик»;
- SIPROTEC 7SJ642 и 7SJ631 – Siemens;
- MICOM P143, 123, 125, 127 – AREVA.

Однако потребителю микропроцессорной техники в современных условиях бывает нелегко сориентироваться в изобилии устройств, предлагаемых к использованию на российском рынке, тем более что их технические

характеристики для многих устройств весьма схожи. Поэтому для правильного и окончательного выбора оборудования необходимо детально знать не только спецификацию устройства, но и условия его применения, в зависимости от которых должно быть принято окончательное решение.

Несмотря на большое разнообразие микропроцессорной техники на российском рынке, основные принципы работы микропроцессорных устройств защиты, автоматики и управления аналогичны. Отличие устройств состоит в том, что они подразделяются на свободно программируемые терминалы и терминалы с «жесткой» логикой.

Особенностью первых является возможность оперативного перепрограммирования логики, вторых – наличие заранее «зашитой» логики, которую, однако, можно скорректировать под конкретные задачи в процессе согласования с производителем терминала.

Выбор микропроцессорного устройства по количеству функций, а также входов и выходов осуществляется в зависимости от вида присоединения КРУ 6(10) кВ (отходящая линия, линия к ТСН, ввод СВ и т. д.

Устройства SEPAM 1000+ серии 20 наделены «жесткой» логикой, могут быть использованы для отходящих линий 6(10) кВ, вводов и СВ 6(10) кВ.

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МОДЕРНИЗАЦИИ ГПП

3.1 Определение электрической нагрузки

1 (2) секция шин 10 кВ БРП-АТ.

Таблица 1 − Номинальная мощность потребителей

Наименование потребителя	$P_{ном}$, кВт	cosφ	tgφ
КТП-3	1110	0,8	0,56
КТП-4	1110	0,8	0,75
КТП-5	113	0,8	0,3
КТП-6	159	0,95	0,56
КТП-7	159	0,95	0,56

Активная мощность трансформатора:

$$P=S*\cos\varphi,$$

где P – активная мощность кВт;
S – полная мощность кВА.

$$P=1387*0,8=1110 \text{ кВт.}$$

Номинальная мощность 1 (2) секции шин 10 кВ:

$$P_{ном} = \sum_{i=1}^{n} P_{ном},$$

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность, кВт.

$$P_{ном}= 1110+1110+113+159+159 = 2651 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенное значение группового коэффициента реактивной мощностиtgφ:

$$tg\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{m} k_{ui} \cdot P_{номi} \cdot tg\varphi_i}{\sum_{i=1}^{n} k_{ui} \cdot P_{номi}},$$

где $P_{номі}$ – активная мощность электроприемника, кВт;

tgφ – коэффициент реактивной мощности электроприемника.

$$tg\varphi=\frac{1110*0,56+1110*0,75+113*0,3+159*0,56+159*0,56}{1110+1110+113+159+159}=0,62$$

Расчетная мощность 1 (2) секции шин 10 кВ:

$P = 2651$ кВт

$$Q_p=P_p*tg\varphi$$

$$Q_p=2651\cdot 0,62 = 1643 кВАр$$

$$S=\sqrt{P_p^2+Q_p^2}$$

$$S = \sqrt{2651^2 + 1643^2} = 3118 \text{ кВА}$$

3.2 Выбор кабелей на напряжение 10 кВ

Питание БРП-АТ производится от ГПП по кабельной линии 10 кВ, кабелем марки ПвПу-10 3×120, длиною 0,27 км.

Расшифровка кабеля:

Пв – изоляция жил из сшитого полиэтилена;

Пу – усиленная оболочка из полиэтилена.

Данная марка кабеля применяются для стационарной прокладки в земле (в траншеях) независимо от степени коррозионной активности грунтов и вод. Допускается прокладка на воздухе без защиты от солнечной радиации, в том числе в кабельных сооружениях, при условии обеспечения дополнительных мер противопожарной защиты, например, нанесения огнезащитных покрытий. Кабели прокладываются на трассах без ограничения разности уровней. Кабели марки ПвПу предназначены для прокладки на сложных участках кабельных трасс. Срок службы кабеля ПвПу-10 3×120 30 лет [6].

Номинальный рабочий ток кабеля ПвПу 3×120 286А.

Проверяем выбранный кабель по условию нагрева проводника:

$$I_p \leq I_{доп},$$

где $I_{доп}$ – длительно допустимый ток по условиям нагрева.

Длительно допустимый ток по паспортным данным кабеля равен 897,6 А.

Экономическая целесообразное сечение определяется из соотношения:

$$F_э = \frac{I_р}{j_э},$$

где $I_р$ – расчетный ток в часы максимума энергосистемы;

$j_э$ – нормированное значение экономической плотности тока ПУЭ, издание 7, таблица 1.3.36 [4].

$$F_э = \frac{286}{2,7} = 106 \text{ мм}^2$$

Экономическая плотность тока при числе использования максимума нагрузки в год T_{max} более 8000 ч условно задано для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами $j_э$ = 2,7 А/мм^2.

Наиболее тяжелым аварийным режимом, в данном случае, будет являться режим, при котором выходит из строя один из питающих кабелей, оставляя всю нагрузку на оставшийся в работе кабель. Расчетное значение тока в аварийном режиме $I_{р.авар}$=2×286 = 571,85 А, что меньше $I_{доп}$= 897,6А по условиям нагрева, тока кабеля. По условиям нагрева и механической прочности кабель проходит.

От распределительного пункта БРП-АТ прокладывается кабель марки ПвПу-10 сечением 3×95, который в свою очередь питает:

- до КТП-3, линия 0,18 км;
- до КТП-4, линия,0,19 км;
- до КТП-5, линия, 0,17;
- до КТП-6, линия, 0,31;
- до КТП-7, линия, 0,33.

Кабель прокладывается в траншеи.

Проверка остальных кабелей производится по такому же принципу по экономической плотности, рассчитывается аварийный режим и полученные результаты при расчетах сведены в таблицу 2 «Выбор кабелей напряжением 10 кВ».

Таблица 2 – Выбор кабелей напряжением 10 кВ

Наименование участка	Нагрузка линии		Расчет по экономической плотности			Выбранный кабель			
	Номинальный режим, А	Аварийный режим, А	Годовое число часов использования максимума нагрузки	$J_э$, А/	Сечение , мм^2	Марка	Кол-во жил, сечение жил	Длина участка, км	Допустимая нагрузка, А
ГПП-БРП	286,0	571,85	8000	2,7	3х120	ПвПу	3×120	0,27	897,6
БРП КТП-3	57,2	114,37	8000	2,7	95	ПвПу	3×95	0,18	298,4
БРП КТП-4	57,2	114,37	8000	2,7	95	ПвПу	3×95	0,19	298,4
БРП КТП-5	57,2	114,37	8000	2,7	95	ПвПу	3×95	0,17	298,4
БРП КТП-6	57,2	114,37	8000	2,7	95	ПвПу	3×95	0,31	316,0
БРП КТП-7	57,2	114,37	8000	2,7	95	ПвПу	3×95	0,33	316,0

3.3 Расчет сопротивлений

Сопротивление линии:
Активное сопротивление:

$$R_л=R_0*L,$$

где R_0 – удельное сопротивление Ом/км при t^o провода +20;
L – длина кабеля, км.

$$R_л=0,153\cdot0,27=0,021$$

Реактивное сопротивление:

$$X_л=X_0*L,$$

где X_0 – удельное реактивное сопротивление Ом/км;
L – длина кабеля, км.

$$X_л=0,081\cdot0,27=0,011$$

Полное сопротивление:

$$Z=\sqrt{R^2+X^2}.$$

Все получившиеся результаты, сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Сопротивление линии

			К1	К2	К3	К4	К5	К6
Сопротивление линии	Активное			0,153	0,194		0,194	
				0,021	0,031		0,060	
	Реактивное			0,081	0,083		0,830	
				0,011	0,013		0,026	
Результ. сопротив. до места кз	Активное	R		0,021	0,052	0,052	0,081	0,081
	Реактивное	×		0,462	0,475	4,955	0,494	6,522
	Полное	Z		0,463	0,478	4,955	0,494	6,552

На распределительном пункте БРП используются медные шины марки М1М 120×12,5, полное сопротивление Z = 0,01724 Ом.

3.4 Расчет токов короткого замыкания

Расчет ТКЗ производим в максимальном режиме (для проверки аппаратов на термическую и динамическую устойчивость) и в минимальном режиме (для выполнения расчета РЗиА) при необходимости [7].

Заданное значение незатухающей периодической слагающей ТКЗ в максимальном режиме равна I_c = 13,43 кА, в минимальном режиме I_c = 11,559 кА.

$S_б$ = 100 МВА

$U_н$ = 10,5 кВ

Базисный ток:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} * U_Н} = \frac{100}{\sqrt{3} * 10{,}5} = 5{,}5 \text{ А}.$$

Ток короткого замыкания в точке К1:

$I_{КЗ1} = I_C = 13{,}43$ кА.

Ударный ток:

$$i_{у1} = \sqrt{2} * К_у * I_{кз1} = \sqrt{2} * 1{,}6 * 13{,}43 = 30{,}4 \text{ кА},$$

где $К_у$ – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания.

Ток короткого замыкания в точке К2:

$$I_{кз2} = \frac{U_Н}{\sqrt{3} * Z} = \frac{10,5}{\sqrt{3} * 0,463} = 13,11 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{у2} = \sqrt{2} * К_у * I_{кз2} = \sqrt{2} * 1,2 * 13,11 = 22,24 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания в точке К3:

$$I_{кз3} = \frac{U_Н}{\sqrt{3} * Z} = \frac{10,5}{\sqrt{3} * 0,478} = 12,68 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{у3} = \sqrt{2} * К_у * I_{кз3} = \sqrt{2} * 1,2 * 12,68 = 21,51 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания в точке $К_4$:

$$I_{кз4} = \frac{U_Н}{\sqrt{3} * Z} = \frac{10,5}{\sqrt{3} * 4,955} = 1,22 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{у4} = \sqrt{2} * К_у * I_{кз4} = \sqrt{2} * 1,2 * 1,22 = 2,08 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания в точке $К_5$:

$$I_{кз5} = \frac{U_Н}{\sqrt{3} * Z} = \frac{10,5}{\sqrt{3} * 0,494} = 12,26 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{у5} = \sqrt{2} * К_у * I_{кз5} = \sqrt{2} * 1,2 * 12,26 = 20,80 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания в точке $К_6$:

$$I_{кз6} = \frac{U_Н}{\sqrt{3} * Z} = \frac{10,5}{\sqrt{3} * 6,552} = 0,93 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{у6} = \sqrt{2} * К_у * I_{кз4} = \sqrt{2} * 1,2 * 0,93 = 1,57 \text{ кА}.$$

Все полученные результаты сведены в таблицу 4 «Максимальный режим».

Таблица 4 − Максимальный режим

Наименование	Ток короткого замыкания, А	Ударный ток, А
$К_1$	13,43	30,4
$К_2$	13,11	22,24
$К_3$	12,68	21,51
$К_4$	1,22	2,08
$К_5$	12,26	20,80
$К_6$	0,93	1,57

Так же рассчитываем для минимального режима. Результаты приведены ниже в таблице 5 «Минимальный режим».

Таблица 5 − Минимальный режим

Наименование	Ток короткого замыкания, А	Ударный ток, А
$К_1$	11,55	26,15
$К_2$	11,31	19,2
$К_3$	10,93	18,55
$К_4$	1,21	2,05
$К_5$	10,64	18,06
$К_6$	0,91	1,55

3.5 Выбор выключателей и разъединителей

Расчетный ток нормального режима [8]:

$$I_н = \frac{S_Н}{\sqrt{3} * U_Н},$$

где $S_Н$ – номинальная полная мощность, кВА;

$U_Н$ – напряжение, кВ.

$$I_Н = \frac{3117,9}{\sqrt{3} * 10,5} = 171,44 \text{ А}.$$

Расчетный ток утяжеленного режима:

$$I_у = 2 * I_Н,$$

$$I_у = 2 * 171,44 = 342,88 \text{ А}.$$

Принимаем к установке вакуумный выключатель типа ВВ/TEL-10-20/1000 У2.
Расчетное время:

$$\tau = t_{рзmin} + t_{св},$$

где $t_{рзmin}$ – время срабатывания защиты минимальное, с;
$\tau_{св}$ – время выключения выключателя, с.

$$\tau = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}.$$

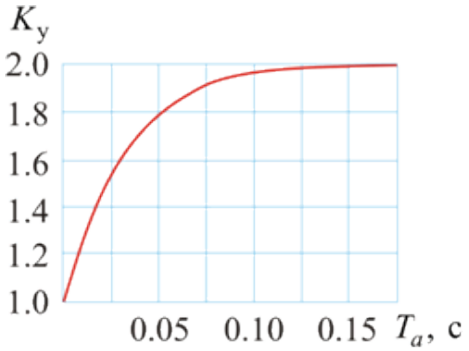

Рисунок 1 – Апериодическая составляющая тока короткого замыкания

Зависимость ударного коэффициента от постоянной времени $T_а$:

$$i_{ат} = \sqrt{2} * I_{к1} * e^{\frac{-\tau}{T_а}},$$

где $T_а$ = 0,01 при ударном коэффициенте 1,4 для систем за кабельными линиями – 10 кВ.

$$i_{ат} = \sqrt{2} * 13436 * 2,71^{\frac{-0,05}{0,01}} = 129,9 \text{ А}.$$

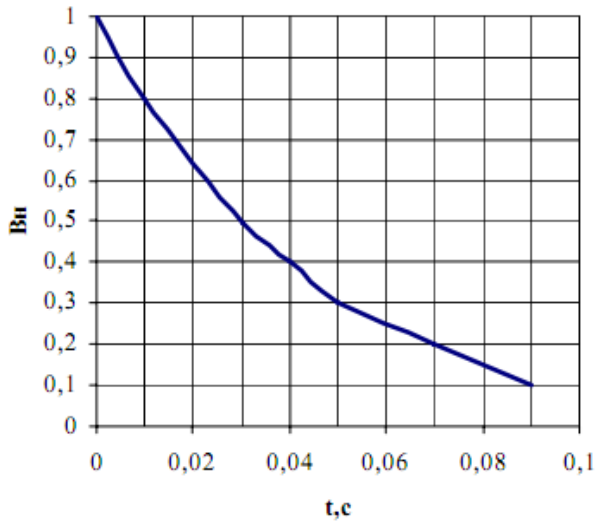

Рисунок 2 – Кривая апериодической составляющей тока

Кривая апериодической составляющей тока:

$$i_{аном} = \sqrt{2} * \beta_н * I_{откл},$$

где $\beta_н$= 0,3по кривой $\beta_н$=f(τ) для τ=0,05 с;

$I_{откл}$ – номинальный ток отключения выключателя, А.

$$i_{аном} = \sqrt{2} * 0{,}3 * 20 = 8{,}4 \text{ кА}.$$

Тепловой импульс:

$$B_k = I_{кз}^2 * (t_{откл} + T_a),$$
$$t_{откл} = t_{зmin} + t_{св},$$

где $t_{зmin}$ – время действия основной защиты, 0,1 с;

$t_{св}$ – время срабатывания выключателя BB/TEL-10, 0,05 с.

$$t_{откл} = 0{,}1 + 0{,}05 = 0{,}15 \text{ с}.$$

$$B_k = 13436^2 * (0{,}15 + 0{,}01) = 28{,}88 \text{ кА}^2 * \text{с}.$$

Выбор разъединителей производится:

- по напряжению уставки:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

- по току:

$$I_{норм} \leq I_{ном};\ I_{max} \leq I_{ном};$$

- по конструкции, по роду установки;

- по электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{пр.с.};$$

- по термической стойкости:

$$B_k \leq I_т^2 * t_т.$$

Таблица 6 – Расчетные данные по выбору выключателя

Расчетные данные	Паспортные данные ВВ/TEL-10-20/1000 У2	Условие	Разъединитель РВФЗ-10/630-II-II
U = 10 кВ	$U_{ном}$ = 10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
$I_{раб.утяж}$ = 342,8 А	$I_{ном}$ = 1000 А	$I_{раб.утяж.} \leq I_{ном}$	
$I_к$ = 13,436 кА	$I_{откл}$ = 20 кА	$I_{к.} \leq I_{откл}$	
$I_{ат}$ = 0,13кА	$i_{а\ ном}$ = 8,4 кА	$I_{ат} \leq I_{аном}$	
$i_у$ = 30,4 кА	$i_{пр\ с}$ = 51 кА	$i_у \leq I_{пр.с.}$	80 кА
$B_к$ = 28,88 кА^{2}с	$I^2_m t_m$ = 51 кА^{2}с $I_т$ = 40 кА $t_т$ = 3 с	$B_{к.} \leq I_m^2 t_m$	$I_т$ = 31,5 кА

3.6 Расчет релейной уставки и выбор микропроцессорного устройства защиты

К релейной защите предъявляются следующие требования:

- селективность (избирательность), то есть способность защиты самостоятельно определять поврежденный участок сети и отключать только этот участок;
- быстродействие;
- надежность действия;
- чувствительность (способность отключать поврежденные участки на начальной стадии повреждения);
- простота схемы [9].

С учетом тока нагрузки защищаемого элемента, его рабочего напряжения и вида РЗ выбирают тип ТТ и его номинальный коэффициент трансформации, после чего проводят проверку на термическую и динамическую стойкость. Выбранные таким образом ТТ проверяют на точность и надежность работы питающейся от них РЗ, исходя из следующих требований ПУЭ [4]:

- Обеспечения точности работы измерительных органов РЗ при КЗ в расчетных точках электрической сети, выбираемых в зависимости от типа РЗ, при этом полная погрешность ТТ не должна превышать 10 %.
- Предотвращения отказа срабатывания РЗ при наибольших значениях тока КЗ в начале участка, защищаемого РЗ, вследствие чрезмерного увеличения погрешности ТТ и искажения формы кривой вторичного тока, могущей вызвать

вибрацию контактов у электромеханических реле, снижение чувствительности и быстродействия у полупроводниковых реле под влиянием высших гармоник.

- Ограничения напряжения во вторичных цепях ТТ и РЗ до допустимых значений при $I_{к\ max}$.

Исходя, из сказанного выше был выбран трансформатор ТПЛ-10-0,5/10Р с коэффициентом трансформации (600/5) и ТПЛ-10-0,5/10Р с коэффициентом трансформации (150/5).

Примем для установки микропроцессорный терминал фирмы «Шнайдер Электрик» Sepam 1000+ S20. Sepam [10] является точным измерительным устройством. Все данные измерений и диагностики, используемые при вводе в работу или необходимые при эксплуатации и обслуживании оборудования, доступны в местном режиме или дистанционно и выводятся с указанием соответствующих единиц измерения: А, В, Вт и т. д.

Таблица 7 – Исходные данные

Наименование			Обозначение	Наименование линии			
				БРП КТП-3, 4, 5	БРП КТП-6, 7	СВ БРП	ГПП-1 БРП
Исходные данные	Максимальный рабочий ток, А		J_M	114,37	114,37		571,85
	Коэффициент трансформации трансформатора тока		N_M	30,00	30,00	120,00	160,00
	Минимальное значение тока 3-х фазного КЗ в зоне защиты	Основной, А	$J_K^{(3)}$	10929,20	10641,40	11314,30	11314,30
		Резервной (МТЗ), А	$J_K^{(3)}$				10929,20
	За трансформатором		$J_K^{(3)}$	1209,00	914,70		1209,00

Максимально токовая защита МТЗ (2 ступень):

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср}=\frac{К_{сх}*К_н*I_М*К_р}{К_В*N_т},$$

где $К_{сх}$ – схема включения реле, 1;

$К_н$ – коэффициент надежности, 1,1;

$К_в$ – коэффициент возврата реле, 0,96;

$К_р$ – коэффициент кратности max. тока, 1.

$$I_{ср}=\frac{1*1,1*114,37*1}{0,96*30}=4,4\ А.$$

Принятый ток срабатывания реле 15А.

Ток срабатывания на первичной стороне:

$$I_{сз} = I_{ср} * N_{т}.$$

$$I_{сз} = 15 * 30 = 450\ А.$$

Чувствительность защиты в зоне основной защиты:

$$К_{ч}=\frac{0,87*I_{к}^{(3)}}{I_{сз}}.$$

$$К_{ч}=\frac{0,87*10929,2}{450}=21,1.$$

За трансформатором:

$$К_{ч}=\frac{0,87*1209}{450}=2,3$$

Принятаяуставка времени защиты t = 0,5 сек.

Аналогично производим расчеты на других линиях, и получившиеся результаты сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Максимальная токовая защита (2 ступень)

	Обозначение	Наименование линии			
		БРП КТП-3, 4, 5	БРП КТП-6, 7	СВ БРП	ГПП-1 БРП
Максимальная токовая защита (2 ступень)	Iср	4,4	4,4		4,1
	Iсз	450	300	600	800
	Кч	21,1	30,9	16,4	12,3
	Кч	2,3	2,7		1,3
	t	0,5	0,5	0,5	0,5

Токовая отсечка (1 ступень).

Таблица 9 – Исходные данные

Наименование			Обозначение	Наименование линии		
				БРП-КТП-3, 4, 5	БРП-КТП-6, 7	ГПП-1 БРП
Исходные данные	Значение тока 3-х фазного КЗ в зоне защиты	для отстройки, А	$I_К^{(3)}$	1209,0	914,7	1209,0
		для проверки, А	$I_К^{(3)}$	10929,2	10641,4	11314,3
	Бросок тока намагничивания силовых трансформаторов, А		$I_{ср}$	88,0	88,0	439,9

Ток срабатывания реле:

$$I_{сро}=\frac{К_{сх}*К_н*I_к^{(3)}}{N_т},$$

где $К_{сх}$ – расчетный коэффициент схемы включения реле, 1;

$К_н$ – расчетный коэффициент надежности, 1,5;

$I_к^{(3)}$ – ток кз для отстройки, А;

$N_т$ – коэффициент трансформации трансформатора тока.

$$I_{сро}=\frac{1*1,5*1209}{30}=60,45$$

Чувствительность отсечки:

$$К_ч = \frac{0,87 * I_к^{(3)}}{I_{сзо}}$$

Таблица 10 – Токовая отсечка (1 ступень)

Обозначение	БРП-КТП-3, 4, 5	БРП-КТП-3, 4, 5	БРП-КТП-3, 4, 5
$I_{сро}$	60,4	45,7	15,23
$I_{сро}$	60,0	50,0	11,34
$I_{сз}$	1800	1500	24000
$К_ч$	5,3	6,2	4,2

3.7 Проверка кабельной линии по термической стойкости

$$S_{min}=\frac{\sqrt{B_k}}{C}=\frac{\sqrt{28,88*10^6}}{92}=58,\ 14мм^2<S_{выб}=120\ мм^2$$

Таким образом выбранные кабели ПвПу с сечением 3×120 мм^2 и ПвПу 3×95 проходят по термической стойкости.

3.8 Экономический расчет и сравнение вариантов

Данный проект преследует цели снижения производственных затрат на ремонт и обслуживание оборудования. Исходя из ранее выбранного оборудования БРП, при проведении модернизации планируется получение следующих эффектов:

Применение вакуумных выключателей вместо масляных выключателей, ранее заложенных в проекте, позволяет:

- Повысить надежность электроснабжения объектов, особенно объектов с повышенной категорией надежности.
- Кардинально снизить (экономить) текущие эксплуатационные затраты за счет снижения объемов ремонтных работ и расходов на комплектующие изделия.
- Снизить (экономить) капитальные затраты будущих периодов за счет значительно большего коммутационного ресурса вакуумных выключателей.

В данной работе в рамках рассматриваемого проекта модернизации ГПП используется упрощенный вариант планирования работ по разработке и проведению модернизации и состоит из следующих стадий и этапов:

- составление сметы на затраты текущего ремонта вакуумного и масляного выключателей;
- определение разницы в стоимости текущего ремонта масляного и вакуумного выключателей;
- определение периода окупаемости модернизации.

Локальный сметный расчет.

Приобретение и монтаж распределительного пункта БРП обойдется нам по сметной стоимости в базовых ценах 2000 года в 2 552 798 рублей (приложение Г). Для перевода в текущие цены применен индекс, полученный при расчете ресурсным сметным расчетом в сметном отделе.

Общая стоимость приобретения распределительного пункта БРП, будет капиталовложением К [11]:

$$К = К_{оборуд.} + С_{монтаж}$$

$$К = 32\ 783 + 2\ 520\ 015 = 2\ 552\ 798 \text{ руб.}$$

Переведем в текущие цены:

$$К = 2\ 552\ 798 \cdot 3{,}66 = 9\ 343\ 240 \text{ руб.}$$

Стоимость текущего ремонта вакуумного выключателя приведена в локально сметном расчете, которая равна:

$С_{тек.вак.выкл.} = 2\ 170$ руб/год

Стоимость ремонта 13 штук:

$$С_{тек.вак.выкл.} = 2\ 170 \cdot 13 = 28\ 210 \text{ руб/год}$$

Для перевода в текущие цены применен индекс 7,88 (ЧелсЦена, часть 2, IкВ.):

$$С_{тек.вак.выкл.} = 28\ 210 \cdot 7{,}88 = 222\ 294 \text{ руб/год}$$

Стоимость текущего ремонта масляного выключателя приведена в локально сметном расчете, которая равна:

$С_{тек.мас.выкл.} = 38\ 362$ руб/год

Стоимость ремонта 13 штук:

$$С_{тек.мас.выкл.} = 38\ 362 \cdot 13 = 498\ 706 \text{ руб/год}$$

Для перевода в текущие цены применен индекс 7,88 (ЧелсЦена, часть 2, IкВ.):

$$С_{тек.мас.выкл.} = 498\ 706 \cdot 7{,}88 = 3\ 929\ 803 \text{ руб/год}$$

Разница между текущими ремонтами вакуумного и масляного выключателей:

$$\Delta С_{тек.} = 3\ 929\ 803 - 222\ 294 = 3\ 707\ 509 \text{ руб/год}$$

Получив разницу между ремонтами вакуумного и масляного выключателей и зная стоимость капиталовложения, мы можем рассчитать период окупаемости модернизации ГПП распределительного пункта БРП:

$$Т_{ок} = \frac{К}{\Delta С}$$

$$Т_{ок} = \frac{9\ 343\ 240}{3\ 707\ 509} = 2{,}5 \text{ года}$$

Период окупаемости модернизации ГПП распределительного пункта БРП около 2,5 лет.

3.9 Безопасность жизнедеятельности

3.9.1 Действие электрического тока на человека

Последствия, которые возникают в результате действия электрического тока на человека, зависят от многих факторов, а именно:

- от величины и рода протекающего тока, переменный ток является более опасным, чем постоянный;
- продолжительности его воздействия, чем больше время действия тока на человека, тем тяжелее последствия;
- пути протекания, самую большую опасность представляет ток, протекающий через головной и спинной мозг, область сердца и органов дыхания (легкие);
- от физического и психологического состояния человека. Организм человека обладает неким сопротивлением, это сопротивление варьируется в зависимости от состояния человека.

Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человеческий организм составляет 1 мА.

При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12–15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Этот ток называется неотпускаемым.

Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания, в результате чего человек может задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца [12].

Электрический ток, проходя через организм человека, может оказывать на него три вида воздействий:

- термическое;
- электролитическое;
- биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на питии протекания тока.

Электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости, в тканях организма вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, опасно такое влияние на органы дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

Электрические травмы − местное повреждения тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения.

Наиболее распространенной электротравмой являются электрические ожоги, примерно 60 % от всех случаев поражения электрическим током.

Электрические ожоги бывают токовые и дуговые.

Электрические знаки − проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно.

Металлизация кожи − возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок.

Электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами.

Механические повреждения проявляются под действием тока, непроизвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Из выше перечисленных повреждений, которые возникают в результате действия электрического тока на организм человека, наиболее опасными являются электрические удары. Электрический удар сопровождается возбуждением живых тканей организма током, который через него проходит. В этот момент возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц.

В зависимости от того, какие последствия возникают после электрического удара, их разделяют на четыре степени воздействия:

I − судорожные сокращения мышц, человек в сознании;

II − судорожные сокращения мышц, человек без сознания, дыхание и работа сердца присутствуют;

III – отсутствие дыхания с нарушением работы сердца;

IV – клиническая смерть, отсутствие дыхания, остановка сердца.

При соблюдение всех правел по технике безопасности, можно избежать получение электрических травм и избежать летальных исходов.

3.9.2 Требование к обслуживающему персоналу

Требования, предъявляемые к обслуживающему персоналу, перечислены в межотраслевых правилах по охране труда [13]. В них определен порядок и условия производства работ, рассмотрены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, испытаний и измерений в электроустановках всех уровней напряжения.

Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены.

Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи должны проводиться в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных и правовых актов по организации охраны труда и безопасной работе персонала.

Проверка состояния здоровья работника проводится до приема его на работу, а также периодически, в порядке, предусмотренном Минздравом России.

Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен пройти проверку знаний настоящих правил и других нормативно-технических документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами, устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности.

Персонал обязан соблюдать требования правил, инструкций по охране труда, указания, полученные при инструктаже.

Работнику, прошедшему проверку знаний по охране труда при эксплуатации электроустановок, выдается удостоверение установленной формы, в которое вносятся результаты проверки знаний.

Работники, обладающие правом проведения специальных работ, должны иметь об этом запись в удостоверении.

Под специальными работами, право на проведение, которых отражается в удостоверении после проверки знаний работника, следует понимать:

- работы под напряжением на токоведущих частях;
- испытания оборудования повышенным напряжением (за исключением работ с мегаомметром).

Перечень специальных работ может быть дополнен указанием работодателя с учетом местных условий.

Работник, проходящий стажировку, дублирование, должен быть закреплен распоряжением за опытным работником. Допуск к самостоятельной работе должен быть также оформлен соответствующим распоряжением руководителя организации.

Каждый работник, если он не может принять меры к устранению нарушения настоящих Правил, должен немедленно сообщить вышестоящему руководителю о всех замеченных им нарушениях и представляющих опасность для людей неисправностях электроустановок, машин, механизмов, приспособлений, инструмента, средств защиты и т. д.

3.9.3 Оперативное обслуживание

Оперативные переключения должен выполнять оперативный или оперативно-ремонтный персонал, допущенный распорядительным документом руководителя организации. Для допускающих по наряду-допуску и распоряжению наличие допуска на право выполнения оперативных переключений обязательно.

В электроустановках напряжением до 1000 вольт работники из числа оперативного персонала, обслуживающие электроустановки, должны иметь группу III.

Единоличный осмотр электроустановок до 1000 вольт, электротехнической части технологического с оборудования может выполнять работник, имеющий группу не ниже III, из числа оперативного персонала, находящегося на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала, имеющий группу V и работник, имеющий группу IV, для электроустановок напряжением выше 1000 вольт и право единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации.

Работники, не обслуживающие электроустановки, могут допускаться в них в сопровождении оперативного персонала, имеющего группу IV, в электроустановках напряжением выше 1000 вольт, и имеющего группу III – в электроустановках напряжением до 1000 вольт, либо работника, имеющего право единоличного осмотра.

При осмотре электроустановок разрешается открывать двери щитов, сборок, пультов управления и других устройств.

Не допускается проникать за ограждения и барьеры электроустановок.

Не допускается выполнение какой-либо работы во время осмотра.

Двери помещений электроустановок, камер, щитов и сборок, кроме тех, в которых проводятся работы, должны быть закрыты на замок.

Порядок хранения и выдачи ключей от электроустановок определяется распоряжением руководителя организации. Ключи от электроустановок должны находиться на учете у оперативного персонала. В электроустановках, не имеющих

местного оперативного персонала, ключи могут быть на учете у административно-технического персонала.

При несчастных случаях для освобождения пострадавшего от действия электрического тока напряжение должно быть снято немедленно без предварительного разрешения руководителя работ [14].

3.9.4 Заземление

Сопротивление заземляющего устройства в любое время года с учетом сопротивления всех присоединенных естественных заземлителей должно быть не более 4 Ом и удовлетворять требованиям п.п. 1.7.96, 1.7.100, 1.7.101 ПУЭ седьмого издания [4].

Заземляющее устройство − электротехническое устройство, предназначенное для создания надежных и обладающих малым сопротивлением заземлений отдельных частей электрических аппаратов и оборудования, токопроводов и молниеотводов.

Сопротивление заземления нейтрали определяется двумя условиями:

- снижением опасных последствий при пробое изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора;
- предотвращением недопустимого повышения напряжения фазных проводов по отношению к земле и заземленных частей электроустановок низкого напряжения при замыканиях на землю в этих электроустановках.

Расчет заземляющих устройств.

Грунт − суглинок и для нее удельное электрическое сопротивление равно 100 Ом /м [4].

Для начала надо вычислить сопротивление заземления одного заземляющего электрода. Оно определяется по формуле:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \cdot \left(\frac{2L}{d}\right) + 0{,}5 \cdot \ln \cdot \left(\frac{4T + L}{4T - L}\right),$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление грунта (Ом · м);

L – длина электрода (м);

d – диаметр электрода (м);

T – заглубление электрода (м).

Удельное электрическое сопротивление составит 34,2 Ом · м.

Количество вертикальных заземлителей определяем по формуле:

$$n_{пр} = \frac{r_в}{R_н \cdot \eta_в},$$

где $\eta_в$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей

$R_н$ – нормируемое сопротивление растеканию тока в землю

Количество вертикальных заземлителей получаем 11 штук.

Сопротивление горизонтального заземлителя определим по формуле, Ом:

$$r_г = \frac{0{,}366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_г \cdot \eta_г} \cdot \lg\left(\frac{2l_г^2}{b \cdot t_{полосы}}\right).$$

Полное сопротивление вертикальных заземлителей R не должно превышать значения определяемого по формуле:

$$R = \frac{R_н \cdot r_г}{r_г - R_н}, Ом$$

R=4,32 Ом.

С учетом полного сопротивления вертикальных заземлителей уточнённое количество вертикальных заземлителей с учётом соединительной полосы определяется по формуле, шт:

$$n = \frac{r_в}{R \cdot \eta_в}.$$

Сезонный коэффициент (увеличение сопротивления заземления взамерзшем зимой грунте) для таких электродов будет равен 1,15 [4].

Коэффициент использования проводимости электродов будет равен 0,65 т. к. расстояние между электродами будет 5 метра, а их количество – 6 штук.

$$R = \frac{К_{сезонный}}{К_{использования}} \cdot \frac{R_1}{N_{электродов}}.$$

Итоговое общее сопротивление заземления 2 электродов будет равно 3,4 Ом – летом и 3,82 Ом – зимой.

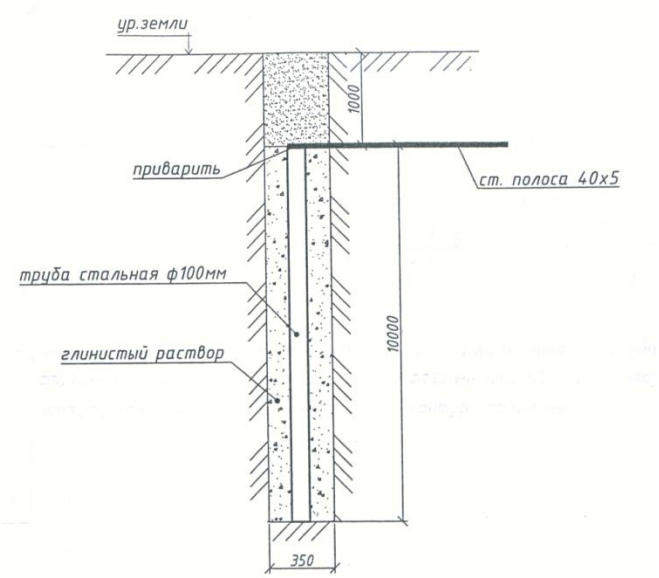

Рисунок 3 − Устройство глубинного заземлителя

Выполняем заземляющее устройство БРП−АТ выполняется углубленными заземлителями из полосовой стали 40×5 мм количеством 11 штук длиной 1 м, укладываемой на дно котлована по периметру здания, с дополнительными вертикальными электродами из угловой стали 50×50×5 мм, длиной 1,5 м .

Углубленный заземлитель соединен стальной полосой 40×5 мм с магистралью заземления, проложенной внутри здания, в двух местах.

Внутренний контур заземления БРП-АТ выполняется на заводе изготовителе и имеет элементы для связи с внешним контуром заземления, рисунок.

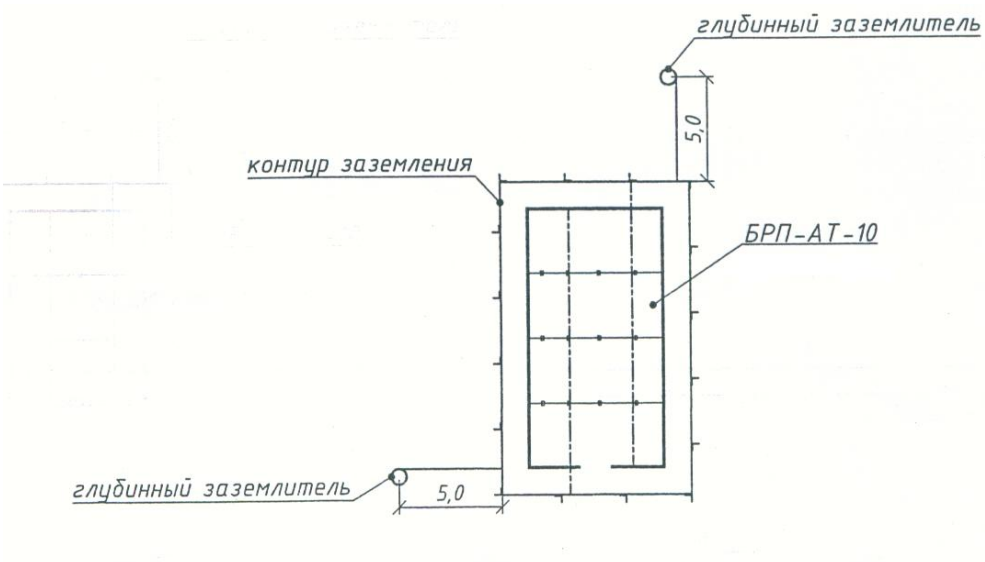

Рисунок 4 – БРП-АТ. Устройство заземлителя

3.9.5 Молниезащита БРП-АТ

Специальных мер по молниезащите БРП-АТ не требуется, так как металлическая арматура каркаса имеет жесткую металлическую связь с внутренним контуром заземления, что соответствует РД34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений», п.4.2.134 ПУЭ [4].

3.9.6 Освещение БРП-АТ

В помещении БРП-АТ принято рабочее освещение на напряжение 380/220 В. Ремонтное переносное освещение и внутреннее освещение камер КСО выполнено на напряжение 36 В [13]. Для рабочего освещения используются люминесцентные лампы марки ЛБ-40, а для ремонтного переносного и освещения в камере КСО используют лампами накаливания марки МО-4-25.

Электропитание освещения БРП-АТ 10 кВ, щита 0,4 кВ и освещение камер КСО производится от автоматов собственных нужд.

Рабочее электроосвещение выполнено люминесцентными светильниками марки ПВЛМ-ДР-2х40-02 УХЛ 4.

Рассчитаем количество светильников.

Согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [15] освещенность рабочего места составляет 150 люкс.

Е − норма освещенности, лк;

Кз − коэффициент запаса 1,3 для люминесцентных ламп;

S − площадь помещения, м2;

Z − коэффициент 1,1

Nл − количество ламп в светильнике;

$Ф_л$ − световой поток одной лампы, 2400мл (паспортные данные);

$U_{св}$ − коэффициент исп…., 0,66

$N_{св}$ = 150*1,3*52,37*1,1/2*2400*0,66 = 4 шт (8 ламп).

Для освещения БРП-АТ достаточно 4 светильников, в две линейки для обеспечения достаточной освещенности по выполнению работ.

3.9.7 Пожарная безопасность

Согласно НПБ 105-95 с СниП 21.01.97 [13] с целью предупреждения возникновения пожара в распределительных пунктах 10 кВ на ГПП предусматриваются следующие технические мероприятия и решения: электрооборудование и сети в процессе эксплуатации не загружаются выше допустимых пределов, а при к.з. имеют достаточную отклоняющую способность и термическую стойкость.

В БРП-АТ применены вакуумные выключатели, которые по своим технических характеристикам полностью вызыво- и пожаробезопасны, а так же работают в агрессивных средах.

Силовые масляные трансформаторы оборудованы газовой защитой, срабатывающей на сигнал и отключение.

Помещение и здание БРП-АТ и камеры трансформаторов собственных нужд выполнены по II степени огнестойкости.

БРП-АТ, при длине 9,92 м, имеет 2 выхода по концам наружу, с самозапирающимися замками, открываемыми со стороны ЗРУ без ключа. Двери обиты железом с асбестовой подкладкой и имеют ширину не менее 0,75 м и высоту 1,9 м.

В целях своевременного извещения о пожаре в БРП-АТ имеется пожарная сигнализация, непосредственно связанная с пожарной охраной. Сигнализация выполнена на основе датчиков извещателей дымовых ИП 212-3СМ и извещатель пожарный ручной ИПР 212-3СУ. Вблизи средств связи вывешены таблички о порядке действия при пожаре (подача сигнала, вызов пожарной охраны).

В соответствии с правилами [13] распределительный пункт относиться к категории В4 − закрытые распределительные устройства с элегазовым оборудованием и вакуумными выключателями, степень огнестойкости – II.

Класс Е − пожары, вызванные неисправностями электрооборудования (короткое замыкание, дуга, перегрузки) и нарушениями правил технической эксплуатации электроустановок [16]. При тушении необходимо (по возможности) обесточить питающую цепь. Но независимо от того, обесточена цепь или нет, при тушении пожара нужно использовать только вещества, не проводящие электрический ток, такие как огнетушащий порошок, углекислота, хладон. При этом нужно помнить, что после применения огнетушащего порошка электроустановку тяжело привести в рабочее состояние.

На основание выше перечисленных требований и правил для локализации очагов пожара на ГПП применены первичные средства пожаротушения:

- БРП-АТ 10 кВ – огнетушители ОУ − 51 шт.;
- камеры трансформаторов собственных нужд огнетушители ОУ – 51 шт.

При соблюдении правил пожарной безопасности можно избежать аварийных ситуаций на распределительном пункте, а при возникновении пожара быстро его локализовать подручными средствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной задачей рассматриваемой главной понижающей подстанции является бесперебойное питание технологического оборудования лабораторного комплекса. В результате проведенного анализа имеющегося оборудования можно сделать вывод, что масляные выключатели устарели и физически и морально, следовательно, требуется их замена.

В данном выпускном квалификационном проекте проведена модернизация главной понижающей подстанции блочного распределительного пункта БРП-АТ. Осуществлены расчеты электрических нагрузок и величин токов трехфазного короткого замыкания. На основании полученных данных о величинах токов короткого замыкания произведены выбор и проверка на электродинамическую, термическую стойкость электрооборудования БРП-АТ. Были предложены вакуумные выключатели серии BB/TEL производства «Таврида электрик» на замену устаревших масляных и выполнить РЗиА на микропроцессорных терминалах фирмы «Шнайдер Электрик».

В результате модернизации электрооборудования понижающей подстанции повысится надежность электроснабжения потребителей, уменьшатся потери в элементах электрической сети, так же снизятся объемы и расходы на эксплуатацию и ремонт электрооборудования и увеличится срок службы подстанции, так как предлагаемое к установке оборудование не требует капитального ремонта и имеет высокие показатели качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю.Г. Барыбин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

2 Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Ю.Г. Барыбин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.

3 Басс, Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов / Э.И. Басс. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 296 с.

4 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 128 с.

5 Крупович, В.И. Справочник по проектированию электроснабжения / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбин, М.Л. Самовер. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 234 с.– (Электроустановки промышленных предприятий)

6 Справочник по проектированию электроснабжения: Электроустановки промышленных предприятий /под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова. – М.: Энергетика, 1995. – 464 с.

7 Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учебное пособие / под ред. И.П. Крючкова. – М.: Академия, 2005. – 423 с.

8 Справочник электромонтера /под ред. А.Д. Смирнова, Л.П. Смирнова. – М.: Энергия, 1968. – 596 с.: ил.

9 Шабад, М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М.А. Шабад. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 347 с.

10 Рекомендации по выбору установок защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM. – М.: Наука, 2000. – 24 с.

11 Самсонов, В.С. Экономика предприятий энергетического комплекса / В.С. Самсонов, М.А. Вяткин. – М.: Высшая школа, 2005. – 264 с.

12 Михайлов, В.В. Надежность электроснабжения промышленных предприятий / В.В. Михайлов. – М.: Энергия, 1973. – 325 с.

13 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 112 с.

14 Справочник энергетика промышленных предприятий / под общей ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского, Я.С. Большама. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 312 с.

15 Федоров, А.А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация / А.А. Федоров, Г.В. Сербиновский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 624 с.

16 Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Интернет инжиниринг, 2006. – 218 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчет токов короткого замыкания и выбор релейной защиты

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схема электроснабжения 10 кВ

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Схема электрическая принципиальная. Камера КСО с микропроцессорной защитой Sepam 1000+ S20

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Локальный сметный расчет