

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))/(специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области»

Студент

Ш.И. Джанакаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе осуществлена реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, включающая выполнение следующих исследований: краткая характеристика базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области; определение расчетных нагрузок потребителей; выбор мощности и количества трансформаторов понизительной трансформаторной подстанции; выбор схемы и конструктивного выполнения питающих и распределительных сетей; расчет распределительной сети напряжением 0,4 кВ; выбор типа и сечения проводников; расчёт токов короткого замыкания; проверка сети по потерям напряжения; выбор и проверка электрических аппаратов.

Разработан комплекс мероприятий по технике безопасности при выполнении работ, а также по экологической безопасности. Рассчитано заземление трансформаторной подстанции.

Работа состоит из 67 страниц, 6 чертежей формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области	6
1.1 Характеристика базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области	6
1.2 Обоснование необходимости проведения реконструкции	10
Выводы по разделу 1	11
2 Реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области	12
2.1 Выбор схемы электроснабжения силовой сети	12
2.2 Конструктивное выполнение питающей и распределительной	14
силовой сети.....	14
2.3 Расчет электрических нагрузок	16
2.4 Выбор количества и мощности силовых трансформаторов	22
2.5 Конструктивное выполнение трансформаторной подстанции	23
2.6 Выбор мощности компенсирующих устройств	25
2.7 Выбор и проверка сечения проводников	26
2.8 Расчёт токов короткого замыкания	36
2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов	42
Выводы по разделу 2.....	52
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	54
3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения.....	54
3.2. Расчёт контура заземления цеховой ТП	58
Выводы по разделу 3.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	66

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции и модернизации электрических сетей и оборудования промышленных предприятий с применением современных схем электроснабжения и новейших разработок в сфере электрических аппаратов и проводникового материала согласно основным положениям [1-4].

Объектом исследования является система электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Предметом исследования являются электрическая схема, электрическое оборудование и электрические сети системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Работа состоит из трёх разделов, в которых исследуются и раскрываются основные задачи работы, а именно:

- в первом разделе приводится анализ системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, включающий характеристику базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с описанием технологического процесса, составом и техническими характеристиками потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с указанием категории надёжности. Приводится детальное обоснование необходимости проведения реконструкции системы электроснабжения базы

производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области;

- во втором разделе работы проводятся непосредственная реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, включающая: выбор схемы электроснабжения силовой сети, конструктивное выполнение питающей и распределительной силовой сети, расчет электрических нагрузок, выбор количества и мощности силовых трансформаторов, конструктивное выполнение трансформаторной подстанции, выбор мощности компенсирующих устройств, выбор и проверка сечения проводников, расчёт токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов;

- в третьем разделе разрабатываются мероприятия по безопасности жизнедеятельности при выполнении работ, экологической безопасности, а также осуществляется расчёт контура заземления ТП.

В графической части приведены следующие чертежи:

1. План расположения оборудования и электрических сетей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

2. Однолинейная электрическая схема системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

3. Конструктивное выполнение цеховой трансформаторной подстанции.

4. Конструкция силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ.

5. Конструкция щита вводного распределительного устройства потребителей.

6. Узлы монтажа кабельных линий в железобетонных лотках.

Решение основных поставленных задач в работе проводится с использованием рекомендованной литературы и нормативных документов.

1 Анализ системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

1.1 Характеристика базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

Рассматриваемая в работе база производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области – это довольно крупное промышленное предприятие, непосредственно специализирующиеся на технологическом процессе монтажа, ремонта и обслуживания техники различных типов и модификации: автомобилей различных типов и комплектации, сельскохозяйственной техники, промышленного технологического оборудования, а также реализации запасных частей и комплектующих к ним.

Рассматриваемая в работе база производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области расположен на окраине г. Санкт–Петербург.

Технологический процесс базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области представляет собой единый комплекс цехов и участков [5], в которых непосредственно выполняется основные технологические операции.

Все производственные отделения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области сосредоточены в одном большом здании, имеющем подвальное помещение.

Для выполнения указанного задания задана потребляемая мощность потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, а также их категории по надежности электроснабжения.

Также задан план расположения потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Электроснабжение базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществляется от трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ (ТП-10/0,4 кВ) закрытого типа, на которой находится один силовой трансформатор марки ТМ-1000/10.

Всё оборудование распределительных устройств 10 кВ и 0,4 кВ ПС-10/0,4 кВ наглухо прикреплено к стенам, что создаёт массу неудобств при обслуживании и ремонте.

В распределительном устройстве 10 кВ (РУ ВН) ТП-10/0,4 кВ располагается разъединитель марки РЛНДз-10 и плавкие предохранители марки ПК-10.

В распределительном устройстве 0,4 кВ (РУ НН) ТП-10/0,4 кВ находятся автоматы марки АЗ144 и плавкие предохранители марки ПН2 для защиты кабельных линий, непосредственно питающих потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Электроснабжение потребителей осуществляется по магистральной схеме без резервирования кабельными линиями электропередачи марки АВВГ на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В состав базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области входят потребители, имеющие значительные электрические нагрузки и работающие на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Основой для реконструкции объекта являются максимальные значения установленных нагрузок, согласованные с энергоснабжающей организацией и внесённых в проект, а также категории надёжности потребителей.

Реконструируемая база производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, согласно современных требований [1,2], должна быть оснащена полным комплексом системы жизнеобеспечения (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.), который размещается в подвальном помещении.

Также здесь же располагается станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей.

На первом этаже непосредственно располагаются основные потребители базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, в частности:

- 1) основная производственная сеть станций технического обслуживания:
 - станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей;
 - станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники;
 - станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов;
- 2) специализированные участки, объединённые в комплексы, для выполнения технологических операций:
 - механический комплекс – необходим для выполнения сложных и трудоёмких механических, токарных, слесарных, сварочных и прочих технологических операций;
 - испытательный комплекс – для испытания оборудования после проведения ремонта;
- 3) система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.) – для непосредственного жизнеобеспечения технических нужд предприятия;
- 4) административно-бытовой корпус.

Состав потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с указанием категории надёжности приведён в таблице 1.

Таблица 1 - Состав потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

№ п/п	Потребитель	Установленная проектная нагрузка, Руст., кВт	Площадь, м ²	Категория по надёжности ЭС
1	Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	171,0	864	I
2	Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	277,0	144	II
3	Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	156,0	180	I
4	Механический комплекс	123,0	168	II
5	Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	375,0	180	I
6	Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	274,0	504	I

7	Испытательный комплекс	115,0	216	II
8	Административно-бытовой корпус	46,0	252	II

План расположения оборудования и электрических сетей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области представлен на графическом листе 1.

1.2 Обоснование необходимости проведения реконструкции

Из приведённой выше информации о системе электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области можно сделать вывод, что она нуждается в реконструкции, а именно:

1) так как подавляющее большинство участков и производственных комплексов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области относятся к I и II категориям потребителей по надёжности электроснабжения, необходимо на питающей ТП-10/0,4 кВ предусмотреть установку двух силовых трансформаторов (на сегодняшний день на данной ТП-10/0,4 кВ установлен один трансформатор);

2) по той же причине, которая обоснована выше, необходимо принять другую схему электроснабжения, которая будет соответствовать условиям резервирования согласно [1] (на сегодняшний день электроснабжение потребителей участков и производственных комплексов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществляется по магистральной схеме без резервирования на напряжении 0,38/0,22 кВ);

3) в виду требований и рекомендаций [1-4], в системе электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области следует модернизировать элементы системы электроснабжения с применением современных разработок таковых. Это касается, в частности,

замены оборудования распределительных устройств трансформаторной подстанции на современные типы, а также применение в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ современных ячеек комплектных распределительных устройств, что значительно упростит обслуживание и ремонт оборудования (сегодня всё оборудование РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ наглухо прикреплено к стенам). При этом в целях экономии помещения ТП-10/0,4 кВ остаются без изменений – модернизации и реконструкции подлежит только оборудование. Также необходимо осуществить модернизацию кабельных линий и электрических аппаратов в РУ 10 кВ, РУ 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, а также во вводных распределительных устройствах (ВРУ) потребителей.

Указанные мероприятия по реконструкции системе электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществляются в работе далее.

Выводы по разделу 1

В результате выполнения первого раздела проведён анализ системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, включающий характеристику базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с описанием технологического процесса, составом и техническими характеристиками потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с указанием категории надёжности.

Приведено детальное обоснование необходимости проведения реконструкции системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, которая осуществляется в работе далее с соблюдением всех норм, требований и рекомендаций нормативных документов [1-4].

2 Реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

2.1 Выбор схемы электроснабжения силовой сети

Схема электроснабжения силовой сети системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области является непосредственным звеном системы электроснабжения района и области и должна логично и гармонично «вписываться» в её структуру.

Электроснабжение силовой сети системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществляется от понижающей трансформаторной подстанции, которая в работе выполняется комплектной после проведения реконструкции.

При этом, как было указано ранее, в системе электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области преобладают потребители I и II категории надёжности, поэтому для их электроснабжения должен быть предусмотрен второй источник питания с учётом требований резервирования согласно [1,6].

Именно поэтому ТП-10/0,4 кВ в работе выполняется с использованием двух силовых трансформаторов.

Использование двух трансформаторов на ТП позволяет использовать второй трансформатор для питания потребителей первого трансформатора в случае его выхода из работы.

Этот аспект работы в аварийном режиме необходимо учесть при выборе силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

При этом в реконструированной схеме питание указанной ТП-10/0,4 кВ осуществляется от распределительного пункта (РП-10 кВ) энергосистемы на напряжении 10 кВ двумя кабельными линиями электропередачи по двухлучевой радиальной схеме (без наличия ответвлений).

Указанные кабели непосредственно питают трансформаторную подстанцию (ТП-10/0,4 кВ), преобразующую номинальное напряжение 10 кВ до напряжения 0,38/0,22 кВ для непосредственного питания потребителей силовой сети системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ в реконструированной схеме предусмотрена установка следующих аппаратов [7]:

- в РП-10 кВ: высоковольтные выключатели;
- на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки и предохранители.

На стороне 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ для каждого силового трансформатора предусматриваются автоматы ввода.

Также для обеспечения дополнительного резервирования на стороне 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ установлен секционный автомат, который в нормальном режиме работы отключён.

Включается секционный автомат автоматически под действием системы автоматического включения резерва (АВР) в том случае, если исчезло напряжение на одной из секций сборных шин 0,4 кВ.

Питающая сеть напряжением 0,38/0,22 кВ обеспечивает питанием вводные распределительные устройства (ВРУ) каждого потребителя базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области кабельными линиями по радиальным схемам от шин напряжением 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ.

Согласно [1] потребители I и II категории надёжности требует двух независимых источников питания с необходимыми условиями резервирования и секционирования.

Данный аспект также реализуется в результате проведения реконструкции.

При этом потребители I и II категории надёжности питаются двумя кабельными линиями от разных секций шин ТП-10/0,4 кВ, т.к. они требует двух независимых источников питания согласно [1].

В виду этого, на стороне 0,38/0,22 кВ для питания потребителей I категории от ВРУ, согласно [1], применяются двухлучевая радиальная схема с АВР, а для питания потребителей II категории – та же схема, но без АВР.

Для защиты и коммутации в сети 0,38/0,22 кВ в реконструированной схеме предусмотрена установка следующих аппаратов:

- в распределительном устройстве РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ: линейные автоматы;
- во ВРУ потребителей: плавкие предохранители и рубильники, а также секционные автоматы (для питания потребителей I и II категорий надёжности).

От ВРУ получают питание распределительные щиты (РЩ) объектов, которые в данной работе не рассматриваются.

Реконструированная схема электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области представлена на графическом листе 2.

2.2 Конструктивное выполнение питающей и распределительной силовой сети

Конструктивно питающая и распределительная сеть выполняется кабельными линиями электропередачи в железобетонных лотках марки Л20.10, что имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с другими, более

классическими способами прокладки (например, с прокладкой кабелей в земляной траншее), а именно:

- удобство и простота обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- значительно меньшая трудоёмкость на поиск повреждений в кабельных линиях;
- удобство вывода кабельных линий в ремонт;
- уменьшение трудозатрат на эксплуатацию и ремонт;
- повышение условий электробезопасности (все кабели видны и доступны для осмотра и работ, нет «скрытой» опасности);
- улучшение нагрузочной способности кабелей вследствие их охлаждения и вентиляции;
- увеличение срока службы кабелей;
- возможность дополнительного увеличения количества кабелей без выполнения трудоёмких земляных работ.

Кроме того, данный способ монтажа значительно минимизирует затраты, т.к. используются элементы строительных конструкций сооружения и дополнительных вложений практически не требуется.

Основой для кабельных лотков, используемых в работе, являются железобетонные плиты марки Б10.5.

Данные плиты также используются для накрытия лотка после укладки в него кабелей.

Кабели в железобетонных лотках укладываются на эстакадные полки.

В работе использованы эстакадные полки марки ПЭ-400-10 и ПЭ-200-10, на которые непосредственно укладываются силовые кабели напряжением 10 кВ.

Для кабелей напряжением 0,4 кВ применяются неперфорированные лотки марки Р110-20Ф, которые предусматривают возможность укладки низковольтных кабелей в несколько рядов.

Кроме того, возможно также использование одного общего железобетонного лотка для совместного прокладывания кабелей напряжением 10 кВ и 0,4 кВ. В этом случае в целях электробезопасности силовые кабели напряжением 0,4 кВ располагают на верхних эстакадных полках, а кабели напряжением 10 кВ – на нижних.

Однако такой способ не рекомендуется, хотя он и не запрещён к использованию.

Для фиксации кабелей на эстакадных полках применяются хомуты типа ТРИ 82-98, заводские сборные узлы крепления типа 6-УК-1-3-650 и УКР-3.

Узлы монтажа кабельных линий питающей сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ в железобетонных лотках представлены в работе на графическом листе 6.

2.3 Расчет электрических нагрузок

Расчетные нагрузки на вводе объектов (потребителей) базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области определяются по значениям установленной проектной нагрузки, $P_{уст}$, кВт.

Расчётная активная нагрузка на вводе объектов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, кВт, определяется по формуле:

$$P_p = P_{уст} \cdot K_o, \quad (1)$$

где $P_{уст}$ – значение установленной проектной нагрузки, кВт;

K_o – коэффициент одновременности (принимается в зависимости от количества объектов [4]).

Расчетная реактивная нагрузка на вводе объектов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, кВАр:

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi_o, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_0$ – расчетный коэффициент для объектов, принимается по таблице 6.12 [4].

Полная расчетная нагрузка на вводе объектов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области $S_{p.}$, кВА, определяется по формуле:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (3)$$

Расчет нагрузок на вводе объектов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществляется на примере станции технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей по формулам (1) – (3)

$$P_{p.} = 171 \cdot 1 = 171 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.} = 171 \cdot 0,27 = 45,6 \text{ квар};$$

$$S_{p.o.3.2} = \sqrt{171^2 + 45,6^2} = 176,7 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов для остальных объектов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области проведены аналогично и сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчётные силовые нагрузки на вводе объектов (потребителей) базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

№ поз	Объект (потребитель)	Установленная проектная нагрузка, Руст., кВт	Коэффициент реактивной мощности $\text{tg } \varphi$	Активная расчетная нагрузка, $P_{p.o.z.}$, кВт	Реактивная расчетная нагрузка, $Q_{p.o.z.}$, квар	Полная расчетная нагрузка, $S_{p.o.z.}$, кВА
1	Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	171,0	0,27	171,0	45,6	176,7
2	Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	277,0	0,32	277,0	89,4	290,7
3	Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	156,0	0,32	156,0	49,4	163,5
4	Механический комплекс	123,0	0,26	123,0	32,3	127,4
5	Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	375,0	0,62	375,0	232,5	441,2
6	Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	274,0	0,32	274,0	88,9	287,9
7	Испытательный комплекс	115,0	0,62	115,0	71,3	135,3
8	Административно-бытовой корпус	46,0	0,20	46,0	9,2	46,9

Далее проводится определение расчетной нагрузки освещения объектов (потребителей) базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Площадь объектов базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области $S=420000 \text{ м}^2$ (42 га). Исходя из этого, определяются длины территорий для наружного освещения.

Также в расчётную длину освещаемого пространства включаются прилегающие территории, непосредственно относящиеся к базе производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области (наружная парковка, узлы приёма и выдачи товаров и т.д.).

Активная расчетная нагрузка наружного уличного освещения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

$$P_{p.y.o.} = \sum_{i=1}^n P_{уд.y.o.i} \cdot l_i, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где $P_{уд.y.o.i}$ – удельная нагрузка i -ой стороны здания, кВт/км;

l_i – длина i -ой освещаемой стороны здания, км.

$$P_{p.y.o.} = 37,5 \cdot (0,5 + 0,84) + 10 \cdot (0,5 + 0,84) = 63,7 \text{ кВт}.$$

Активная расчетная нагрузка внутреннего освещения, с учётом подсветки зданий и сооружений базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, а также внутренней и внешней парковки, проходов, коридоров, помещений и т.д. определяется так [4]:

$$P_{p.вн.} = P_{уд.вн.} \cdot F, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где $P_{уд.вн.}$ – удельная нагрузка внутреннего освещения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, кВт/га, принимается равной 0,6 кВт/га;

F – суммарная площадь базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, которая подлежит освещению, га.

$$P_{p.вн.} = 0,6 \cdot 42 = 25,2 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная активная нагрузка внешнего и внутреннего освещения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области [4]

$$P_{p.o.тк} = P_{p.y.o.} + P_{p.вн.} \quad (6)$$

$$P_{p.o.тк} = 63,7 + 25,2 = 88,9 \text{ кВт.}$$

Расчётная реактивная нагрузка освещения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области

$$Q_{p.o.тк} = P_{p.y.o.} \cdot \text{tg}\varphi_{y.o.} + P_{p.вн.} \cdot \text{tg}\varphi_{вн.}, \quad (7)$$

где $\text{tg}\varphi_{y.o.}$ и $\text{tg}\varphi_{вн.кв.}$ – соответственно значение коэффициентов мощности наружного (уличного) и внутреннего освещения.

$$Q_{p.o.тк} = 63,7 \cdot 0,328 + 25,2 \cdot 0,328 = 29,2 \text{ квар.}$$

Полная расчетная нагрузка наружного освещения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области:

$$S_{p.o.тк} = \sqrt{P_{p.o.тк}^2 + Q_{p.o.тк}^2} \quad (8)$$

По условию (8)

$$S_{p.o.тк} = \sqrt{88,9^2 + 29,2^2} = 93,6 \text{ кВА.}$$

Расчет суммарной электрической нагрузки базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области выполняется путем суммирования расчетных нагрузок отдельных групп однородных потребителей с учетом коэффициента участия в максимуме наибольшей из нагрузок согласно [4]:

$$P_{тк} = P_{p.max} + \sum_1^{n_i} k_{y_i} \cdot P_{p.i}, \text{ кВт,} \quad (9)$$

$$Q_{тк} = P_{p.max} \cdot \text{tg}\varphi + \sum_1^n k_{y_i} \cdot (P_{кв.i} \cdot \text{tg}\varphi_{кв.i} + k'_{c.i} \cdot P_{л.i} \cdot \text{tg}\varphi_{л.i}), \text{ квар,} \quad (10)$$

где $P_{p.max}$ – максимальное значение электрической нагрузки из группы однородных потребителей, кВт;

$P_{p.i}$ – расчетные значения нагрузок остальных групп потребителей, кВт;

$K_{y.i}$ – коэффициент несовпадения максимумов нагрузок [8].

Расчетная нагрузка базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области определяется с учетом нагрузки освещения.

Коэффициенты участия в максимуме для освещения $K_{y.i} = 1$.

Суммарная расчетная нагрузка базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с учётом освещения определяется по формуле [4]:

$$P_{p.мк} = P_{p.max} + \sum k_{y.i} \cdot P_{p.i} + k_{y.осв.} \cdot (P_{p.y.o.} + P_{p.вн.}), \quad (11)$$

где $P_{p.max}$ – максимальное значение из группы расчетных нагрузок, кВт;

$P_{p.i}$ – значение расчетной нагрузки i -го объекта, кВт;

$k_{y.i}$ – коэффициент участия i -го объекта в максимуме нагрузок, принимается по 6.13 [4].

$$P_{p.тк} = 375 + (171 \cdot 0,5 + 156 \cdot 0,5 + 123 \cdot 0,5 + 277 \cdot 0,5 + 274 \cdot 0,5 + 115 \cdot 0,5 + 46 \cdot 0,5) + 1 \cdot 88,9 = 907,1 \text{ кВт.}$$

Реактивная составляющая расчетной нагрузки базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с учётом освещения определяется по формуле:

$$Q_{p.мк} = P_{p.max} \cdot \text{tg}\varphi + \sum k_{y.i} \cdot P_{p.i} \cdot \text{tg}\varphi_i + k_{y.осв.} \cdot P_{осв.} \cdot \text{tg}\varphi_{осв.} \quad (12)$$

$$Q_{p.тк} = 375 \cdot 0,62 + (171 \cdot 0,5 \cdot 0,27 + 156 \cdot 0,5 \cdot 0,32 + 123 \cdot 0,5 \cdot 0,26 + 277 \cdot 0,5 \cdot 0,32 + 274 \cdot 0,5 \cdot 0,32 + 115 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 46 \cdot 0,5 \cdot 0,2) + 1 \cdot 88,9 \cdot 0,328 = 254,8 \text{ квар.}$$

Полная расчетная нагрузка базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области с учётом освещения определяется:

$$S_{p.тк.} = \sqrt{P_{p.тк.}^2 + Q_{p.тк.}^2} \quad (13)$$

$$S_{p.тк.} = \sqrt{907,1^2 + 254,8^2} = 942,3 \text{ кВА}$$

2.4 Выбор количества и мощности силовых трансформаторов

Выбор силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области производится по упрощённой методике, приведённой в [2].

Для двухтрансформаторных подстанций, питающих потребители I и II категорий надёжности, мощность каждого трансформатора принимается равной согласно следующему условию

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p}{N\beta_t}, \quad (14)$$

где $S_{\text{ном.т.р}}$ – значение полной номинальной расчетной мощности силового трансформатора, кВА;

P_p – значение расчетной активной нагрузки ТП-10/0,4 кВ, кВт;

N – количество силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, шт;

β_t – коэффициент загрузки силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ [1].

Согласно (14)

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{907,1}{2 \cdot 0,8} = 566,9 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных расчётных значений, выбирается силовой трансформатор марки ТМЗ-630/10.

На ТП-10/0,4 кВ устанавливаются два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10.

Проверка силового трансформатора в нормальном режиме работы проводится по условию [2]

$$K_3^n \leq 0,85 \leq \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}}. \quad (15)$$

Силовой трансформатор в послеаварийном режиме работы должен удовлетворять требованию [2]

$$K_3^{n.ав} \leq 1,7 \leq \frac{S_p}{S_{ном.т}}. \quad (16)$$

Согласно (15)

$$K_3^n \leq 0,85 \leq \frac{942,3}{630 \cdot 2} = 0,748.$$

Согласно (16)

$$K_3^{n.ав} \leq 1,7 \leq \frac{942,3}{630 \cdot (2-1)} = 1,496.$$

Расчётным путём в работе установлено, что выбранные силовые трансформаторы марки ТМЗ-630/10, которые выбраны для установки на ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, обеспечат надёжную работу схемы электроснабжения в нормальном и послеаварийном режимах работы.

На ТП-10/0,4 кВ предусмотрена установка двух трансформаторов указанной марки.

Конструкция выбранного типа силовых трансформаторов приведена в графической части работы на листе №4.

2.5 Конструктивное выполнение трансформаторной подстанции

Конструктивно ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области выполнена в виде одноэтажного сооружения с кабельными вводами.

При этом ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области конструктивно состоит из двух ранее выбранных силовых трансформаторов типа ТМЗ-630/10, а также

распределительных устройств напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, устройств управления, релейной защиты, автоматики и сигнализации [7,8].

Конструктивно ТП-10/0,4 кВ сооружается закрытой с применением комплектных распределительных устройств низкого и высокого напряжений. Закрытые трансформаторные подстанции используются, главным образом, в городах и на крупных и средних предприятиях [7,8].

ТП-10/0,4 кВ строится из железобетона и располагается в подвале базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, что разрешено положениями [1], т.к. все вводы ВН и НН указанной ТП-10/0,4 кВ – кабельные.

Для вентиляции помещения ТП-10/0,4 кВ предусмотрены жалюзи, расположенные в верхней части.

В работе выбранная закрытая трансформаторная подстанция питается кабельной линией напряжением 10 кВ от РП-10 кВ энергосистемы.

Через проходной изолятор, выключатель нагрузки и предохранитель, высокое напряжение 10 кВ подается к трансформатору.

Проводка высокого напряжения выполнена стальными шинами на опорных изоляторах, между предохранителями различных фаз является перегородки из изоляционного материала.

В качестве камеры ввода на ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ используется камера типа КСО-366, в которых находятся выключатели нагрузки, высоковольтные предохранители и трансформаторы тока.

Безопасные условия при обслуживании и ремонте обеспечиваются механическими блокировками камер, одна из которых блокирует открывание фасадных дверей камеры при включенном выключателе нагрузки [9].

В одном из проемов стены ТП-10/0,4 кВ размещён щит низкого напряжения 0,4 кВ.

Выводы низкого напряжения выполнены изолированными проводниками

в стальных трубах.

Распределительное устройство напряжением 0,4 кВ (РУ-0,4 кВ) выполняется в шкафах, в которых размещены автоматические выключатели.

От шин РУ-0,4 кВ отходят силовые кабели для питания вводных распределительных устройств (ВРУ) потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Секционный автомат, установленный между секциями сборных шин в РУ 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, обеспечивает резервирование двухтрансформаторной подстанции на стороне 0,4 кВ в случае аварийной ситуации или ремонтных работах на одной из секций шин [6,7].

Конструктивное выполнение ТП-10/0,4 кВ показано на графическом листе №3.

2.6 Выбор мощности компенсирующих устройств

Непосредственный выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области проводится согласно [1,2].

Для использования в схеме электроснабжения применяется установка компенсирующих устройств в виде батарей конденсаторов на шинах 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Согласно методике [1,2], находится значение максимальной реактивной мощности, которую желательно передавать через силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ в сеть напряжением 0,4 кВ для обеспечения необходимого нормативного коэффициента загрузки силовых трансформаторов β_T :

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - P_p^2}, \text{ квар}, \quad (17)$$

где N – количество силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт.;

β_T – нормативное значение коэффициента загрузки силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ;

$S_{ном.т}$ – значение полной номинальной мощности силового трансформатора ТП-10/0,4, кВА;

P_p – значение расчетной активной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, кВт.

Расчётная мощность конденсаторных установок (КУ) определяется таким образом:

$$Q_{н.к} = Q_p - Q_T \text{ квар,} \quad (18)$$

где Q_p – значение реактивной расчётной нагрузки на шинах ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, квар.

Согласно (17)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 907,1^2} = 439,6 \text{ квар.}$$

Согласно (18)

$$Q_{н.к} = 254,8 - 439,6 = -184,8 \text{ квар.}$$

Т.к. $Q_{н.к} < 0$, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются.

2.7 Выбор и проверка сечения проводников

Выбор и проверка сечения кабельной линии напряжением 10 кВ, питающей ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области от РП-10 кВ энергосистемы, проводится в два этапа согласно [1,3].

1) Выбор сечений в нормальном режиме работы.

Сечение кабелей напряжением 10 кВ выбирается по экономической плотности тока.

Сечение кабеля определяется по формуле

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_n}{j_e}, \text{ мм}^2, \quad (19)$$

где I_n - ток нормального режима, А;

j_e - нормированное значение экономической плотности тока, А/мм² (согласно [1], для алюминиевых жил кабеля с бумажной изоляцией при значении $T_{\text{макс}}$ от 3000 ч до 5000 ч принимается $j_e = 1,6$ А/мм²).

По значению экономического сечения кабеля выбирается стандартное значение сечения ($S_{\text{ст}}$) из [10].

Определяются номинальный ток трансформаторов ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области [5]

$$I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном.т.}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \text{ А}, \quad (20)$$

где $S_{\text{ном.т.}}$ - номинальная мощность трансформатора ТП, кВА;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное первичное напряжение трансформатора, кВ.

$$I_{\text{ном.т}} = I_n = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}.$$

Сечения кабелей [3,5]:

$$S_{\text{ек}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,8 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2.$$

$$I_{\text{доп}} = 105 \text{ А}.$$

2) Проверка сечения проводников по максимальному режиму.

Сечение предварительно выбранной кабельной линии проверяется по условию нагрева максимальным током

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\phi} = K_{\text{рез}} I_n, \text{ А}, \quad (21)$$

где $K_{\text{пер}}$ – значение коэффициента перегрузки кабельных линий;

$I'_{\text{доп}}$ - допустимый ток, А, значение которого определяется [3,5]

$$I'_{\text{дон}} = K_{\text{ср}} K_{\text{пр}} I_{\text{дон}}, \text{А}, \quad (22)$$

где $K_{\text{ср}}$ - поправочный коэффициент на температуру окружающей среды, если она отличается от стандартной (таблица 1.3.3 [1]);

$K_{\text{пр}}$ - поправочный коэффициент на количество кабелей, лежащих рядом в земле.

Принимается $K_{\text{пр}} = 0,9$ [3];

$I_{\text{дон}}$ - допустимый длительный ток проводника стандартного сечения, А;

$K_{\text{рез}}$ - коэффициент резервирования, принимается равным 1,4 [3,5].

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды можно вычислить по формуле [5]

$$K_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{ср}}}{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{ср.н}}}}, \quad (23)$$

где $T_{\text{ж.н}}$ и $T_{\text{ср.н}}$ - соответственно нормированная длительно допустимая температура жилы и нормированная температура среды;

$T_{\text{ср}}$ - фактическая температура среды.

Для кабелей марки АСБ напряжением 10 кВ продолжительная допустимая температура $T_{\text{ж.н}} = 60$ °С.

Для кабелей, проложенных в земле, нормированная температура среды значение $T_{\text{ср.н}} = 15$ °С.

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды принимается $K_{\text{ср}} = 1$ [1].

Выбранные кабели проверяются по условию (21):

$$1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 105 = 94,5 > 1,4 \cdot 38,5 = 53,9 \text{ А.}$$

Условия выполняются, значит, выбранные кабели АСБ-10(3x25) могут работать в максимальном режиме нагрузки без перегрева изоляции.

Окончательно принимается для кабельной линии напряжением 10 кВ, которая питает ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания

Всеволожского района Ленинградской области, силовой кабель марки АСБ-10 (3x25).

Далее в работе проводится выбор кабельных линий, питающих потребители ТП-10/0,4 кВ на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Необходимую степень резервирования потребителей ТП-10/0,4 кВ, с учётом их категории надёжности, в работе выполняется с помощью кабельных линий соответствующих соседних секций потребителей рассматриваемой ТП-10/0,4 кВ.

При этом необходимым условием является питание указанных кабельных линий от разных секций шин 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ по радиальной схеме электроснабжения согласно [1].

Для правильного выбора сечения указанных кабельных линий необходимо знать значение тока кабельной линии в нормальном и в послеаварийном режиме работы.

В работе выбираются для питания всех потребителей ТП-10/0,4 кВ силовые алюминиевые кабели марки АВВГ.

В виду довольно больших нагрузок потребителей применение силовых кабелей с медными жилами экономически нецелесообразно.

Указанные кабели прокладываются в железобетонных лотках.

Сечение указанных кабелей выбирается по [2].

Так как питание большинства потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области производится по двум кабелям, то полная расчетная мощность на участке сети в нормальном режиме определяется следующим образом:

$$S_p^n = \frac{S_{p.1}^n}{2}, A. \quad (24)$$

где $S_{p.1}$ – полная расчетная мощность потребителя.

Значение расчетного тока в нормальном режиме определяется:

$$I_p^n = \frac{S_p^n}{\sqrt{3}U_n}, A. \quad (25)$$

где S_p^n - полная расчетная мощность на участке сети в нормальном режиме, кВА;
 U_n - номинальное напряжение сети, $U_n=0,38$ кВ.

В послеаварийном режиме работы системы, когда основной кабель вышел из строя и питание потребителей осуществляется от резервного кабеля, питающегося от второй секции ТП-10/0,4 кВ, значение расчетного тока определяется так [1]:

$$I_p^{n.ав} = \frac{0,9 \cdot S_p^{n.ав}}{\sqrt{3}U_n} A, \quad (26)$$

где 0,9 – значение поправочного коэффициента [1].

Проводится определение нормального и послеаварийного тока на примере линии ТП – П №1, питающей потребитель (П) №1 (станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей).

По условию (24)

$$S_p^n = \frac{176,7}{2} = 88,4 \text{ кВА}.$$

По условию (25)

$$I_p^n = \frac{88,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 134,3 \text{ А}.$$

По условию (26)

$$I_p^{n.ав} = \frac{0,9 \cdot 176,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 241,6 \text{ А}.$$

Аналогичные расчеты проводятся для остальных линий, питающих потребители базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области на напряжении 0,38/0,22 кВ от ТП-10/0,4 кВ и результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение расчетных токов питающих линий 0,38/0,22 кВ

Участок от ТП к потребителю	n , шт.	S_p^H , кВА	$S_p^{наб}$, кВА	I_p^H , А	$I_p^{наб}$, А
Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	2	88,4	176,7	134,3	241,6
Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	2	145,4	290,7	220,9	397,5
Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	2	81,8	163,5	124,3	223,6
Механический комплекс	2	63,7	127,4	96,8	174,3
Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	2	220,6	441,2	335,2	603,5
Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	2	144,0	287,9	218,8	393,8
Испытательный комплекс	2	67,7	135,3	102,9	185,1
Административно-бытовой корпус	2	23,5	46,9	35,7	64,1

Принимается для питания потребителей питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ, при прокладке в железобетонных лотках на территории базы, силовой кабель с алюминиевыми жилами марки АВВГ [1].

Для линии ТП-10/0,4 кВ – Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей, для принятой марки кабеля (АВВГ) и способа его прокладки (в железобетонных лотках) выбирается сечение

$$I_{дон} \geq I_p^H, \text{А.} \quad (27)$$

где $I_{дон}$ – значение длительно - допустимого тока кабеля [1].

Принимается значение длительно - допустимого тока кабеля $I_{дон} = 153 \text{ А}$ и соответствующее ему стандартное сечение, равное $F=50 \text{ мм}^2$.

Условие выбора кабеля выполняется

$$150 \text{ A} > 134,3 \text{ A}.$$

Проверка по условию предельно допустимого нагрева токами продолжительного режима:

$$I'_{\text{доп}} \geq K_{\text{общ}}^{\text{н}} I_{\text{доп}}, \text{A}. \quad (28)$$

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p^{\text{н}}, \text{A}. \quad (29)$$

По условию (28)

$$I'_{\text{доп}} = 0,87 \cdot 153 = 135,1 \text{ A}.$$

По условию (29)

$$135,1 \text{ A} > 134,3 \text{ A}.$$

Условие выполняется, проводится проверка в послеаварийном режиме

$$I_{\text{доп}}^{\text{н.ав}} = K_{\text{общ}}^{\text{н.ав}} \cdot I_{\text{доп}}, \text{A}. \quad (30)$$

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p^{\text{н.ав}}, \text{A}. \quad (31)$$

По условию (30)

$$I_{\text{доп}}^{\text{н.ав}} = 1,15 \cdot 153 = 176 \text{ A}.$$

По условию (31)

$$176 \text{ A} < 241,6 \text{ A}.$$

Условие (31) не выполняется, поэтому увеличивается сечение силового кабеля до тех пор, пока данное условие будет выполнено в полной мере.

Принимается стандартное сечение кабеля $F=95 \text{ мм}^2$, допустимый ток $I_{\text{доп}}=219 \text{ A}$.

$$I_{\text{доп}}^{\text{н.ав}} = 1,15 \cdot 219 = 251,9 \text{ A}.$$

$$251,9 \text{ A} > 241,6 \text{ A}.$$

Условия (30) и (31) выполняются, следовательно, окончательно принимается сечение жилы силового кабеля $F=95 \text{ мм}^2$.

Аналогично выбраны и проверены кабельные линии других участков питающей сети 0,38/0,22 кВ.

Результаты выбора и проверок приведены в таблице 4. По ним выбраны питающие кабели, удовлетворяющие предъявляемым техническим требованиям. В последнем столбце показано, что данные требования выполняются.

Кроме того, согласно требованиям [1], необходимо провести непосредственный расчёт потери напряжения в процентах для каждого участка по следующей формуле:

$$\Delta U\% = \frac{S \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \% \quad (32)$$

При этом, согласно требованиям [1], потери напряжения в нормальном режиме работы не должны превышать 5%, а в послеаварийном режиме – 10%.

Результаты расчёта потерь напряжения в выбранных кабельных линиях приведены в таблице 5. Как видно из правого столбца таблицы, потери напряжения находятся в допустимых пределах.

Таким образом, на основании расчетов выбраны сечения проводников, обеспечивающие необходимую надежность транспортировки электроэнергии в разрабатываемой системе электроснабжения.

Таблица 4 – Определение сечения жил кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ

Участок от ТП-10/0,4 кВ	Расчетный ток		$I_{дон}$, А	F , мм ²	$K^{н.общ.}$	$I'_{д.}$, А	$I'_{д.} \geq I_p^{н.}$	$K^{н.ав.общ.}$	$I_{д.}^{н.ав.}$, А	$I_{д.}^{н.ав.} \geq I_p^{н.ав.}$
	$I_p^{н.}$, А	$I_p^{н.ав.}$, А								
Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	134,3	241,6	219	95	0,87	188,3	да	1,15	251,9	да
Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	220,9	397,5	359	240	0,87	308,7	да	1,15	412,9	да
Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	124,3	223,6	219	95	0,87	188,3	да	1,15	251,9	да
Механический комплекс	96,8	174,3	153	50	0,87	131,6	да	1,15	175,9	да
Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	335,2	603,5	2х 314	2х 185	0,87	540,1	да	1,15	722,2	да
Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	218,8	393,8	359	240	0,87	308,7	да	1,15	412,9	да
Испытательный комплекс	102,9	185,1	184	70	0,87	158,2	да	1,15	211,6	да
Административно-бытовой корпус	35,7	64,1	60	10	0,87	51,6	да	1,15	69,0	да

Таблица 5 – Расчет потерь напряжения в питающей сети 0,38/0,22 кВ

Участок от ТП-10/0,4 кВ	F, мм ²	Коэф-ты мощности		L, м	Удельное сопротивление линии		ΔU^n , %	$\Delta U^n_{don \leq 5\%}$	$\Delta U^{n.ab.}$, %	$\Delta U^{n.ab.}_{don \leq 10\%}$
		$\cos\varphi$	$\sin\varphi$		r_0 , мОм/м	x_0 , мОм/м				
Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	95	0,95	0,31	60	0,34	0,06	2,47	да	4,88	да
Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	240	0,95	0,31	80	0,14	0,06	2,24	да	4,23	да
Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	95	0,95	0,31	140	0,34	0,06	2,86	да	5,47	да
Механический комплекс	50	0,95	0,31	160	0,64	0,06	3,16	да	6,02	да
Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	2х 185	0,95	0,31	180	0,17	0,06	1,98	да	3,83	да
Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	240	0,95	0,31	200	0,14	0,06	1,45	да	2,82	да
Испытательный комплекс	70	0,95	0,31	210	0,46	0,06	4,08	да	7,94	да
Административно-бытовой корпус	10	0,95	0,31	240	2,15	0,06	4,23	да	7,16	да

2.8 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания на ТП-10/0,4 кВ осуществляется для непосредственного выбора и проверки по условиям электродинамической и термической стойкости электрических аппаратов, проводников и оборудования ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, а также для выбора уставок релейной защиты и автоматики [3,5].

На рисунке 1 приведена расчетная схема для расчета токов короткого замыкания на ТП-10/0,4 кВ и построенная по ней схема замещения.

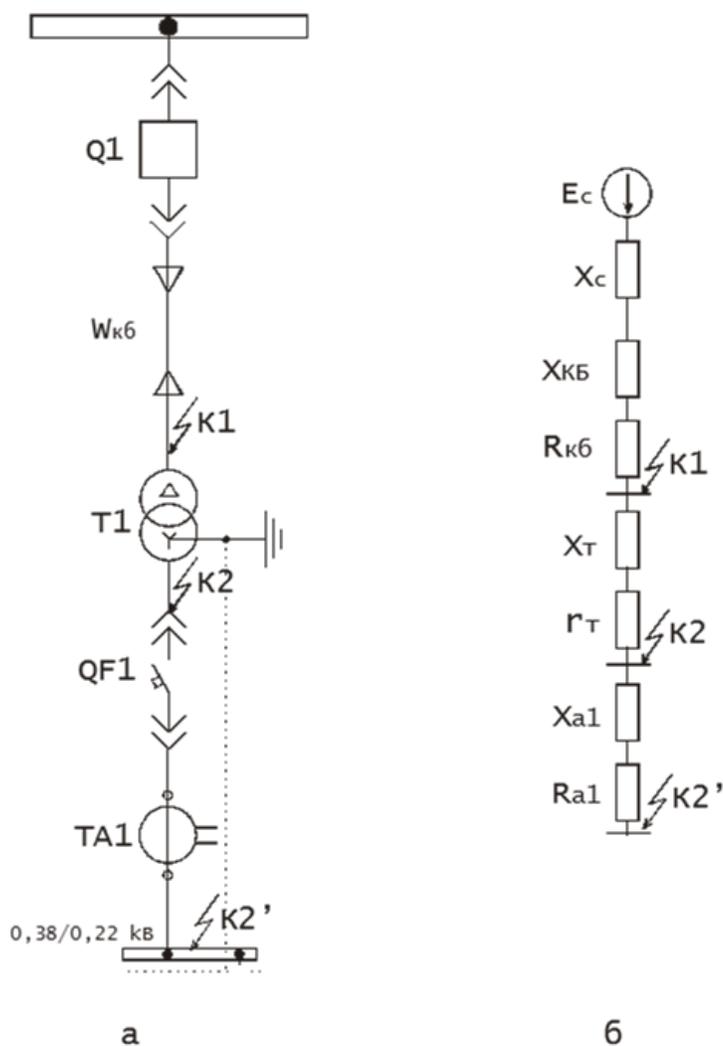


Рисунок 1 - Схемы для расчетов токов короткого замыкания:

а - расчетная схема; б - схема замещения

В схеме на рисунке 1 показан высоковольтный выключатель, установленный на питающем РП-10 кВ энергосистемы.

При этом выключатели нагрузки и высоковольтные предохранители, которые установлены на ТП-10/0,4 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области для расчетов токов короткого замыкания не учитываются, в силу ничтожно малых сопротивлений, которыми можно пренебречь [5,6].

Расчёт проводится в максимальном режиме работы системы.

Значение базисной мощности принимается равной полной номинальной мощности силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ [5,6]

$$S_{\bar{6}} = S_{\text{НОМ.Т}} = 630 \text{ кВА.}$$

Значение базисных напряжений [5,6]

$$U_{\bar{6}1} = 1,05 \cdot U_{\text{НОМ.ВН}}, \text{ кВ}; \quad (33)$$

$$U_{\bar{6}1} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_{\bar{6}2} = 0,4 \text{ кВ.}$$

Значение базисного тока [5,6]

$$I_{\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6}1}}, \text{ А}; \quad (34)$$

$$I_{\bar{6}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,7 \text{ А.}$$

Сопротивление системы

$$x_{c*} = \frac{I_{\bar{6}}}{I_{\text{п.о}}^{(3)}}, \text{ о.е.}; \quad (35)$$

$$x_{c*} = \frac{34,7}{6000} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ о.е.}$$

Сопротивление кабельной линии [3, 4]

$$x_{*кб1} = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.}; \quad (36)$$

$$r_{*кб1} = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.},$$

где $r_{0.кб1}$ - активное удельное сопротивление кабеля, Ом/км;

$x_{0.кб1}$ - реактивное удельное сопротивление кабеля, Ом/км.

$$x_{*кб1} = 0,083 \cdot 0,05 \frac{0,63}{10,5^2} = 0,24 \cdot 10^{-4} \text{ о. е.};$$

$$r_{*кб1} = 0,625 \cdot 0,05 \frac{0,63}{10,5^2} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ о. е.}$$

Сопротивление силового трансформатора [3,4]

$$r_{*Т} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{НОМ.Т}}, \text{ о.е.}; \quad (37)$$

$$x_{*Т} = \sqrt{u_{к*}^2 - r_{*Т}^2}, \text{ о.е.}, \quad (38)$$

где $\Delta P_{кз}$ – значение потерь короткого замыкания силового трансформатора, кВт;

$u_{к*}$ - напряжение короткого замыкания силового трансформатора, %.

$$r_{*Т} = \frac{7,6}{630} = 0,0121 \text{ о.е.};$$

$$x_{*Т} = \sqrt{0,055^2 - 0,0121^2} = 0,0537 \text{ о.е.}$$

Суммарное сопротивление к точке короткого замыкания К1 [3,4]

$$x_{*\Sigma К1} = x_{*С} + x_{*кб1}, \text{ о.е.}; \quad (39)$$

$$x_{*\Sigma К1} = 0,0058 + 0,000024 = 0,00582 \text{ о.е.}$$

$$z_{*\Sigma К1} = \sqrt{x_{*\Sigma К1}^2 + r_{*\Sigma К1}^2}, \text{ о.е.}; \quad (40)$$

$$z_{*\Sigma К1} = \sqrt{0,00582^2 + 0,00018^2} = 0,00582 \text{ о.е.}$$

Суммарное сопротивление к точке короткого замыкания К2 [3,4]

$$x_{*\Sigma K2} = x_{*\Sigma K1} + x_{*T}, \text{о.е.}; \quad (41)$$

$$x_{*\Sigma K2} = 0,00582 + 0,0537 = 0,0595 \text{ о.е.}$$

$$r_{*\Sigma K2} = r_{*K61} + r_{*T}, \text{о.е.}; \quad (42)$$

$$r_{*\Sigma K2} = 0,00018 + 0,0121 = 0,0123 \text{ о.е.}$$

6) Определяется суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2

$$x_{\Sigma K2} = x_{*\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{Ом}; \quad (43)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,0595 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0152 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{*\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{Ом.}; \quad (44)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0123 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0031 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{Ом.}; \quad (45)$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,0031^2 + 0,0152^2} = 0,0155 \text{ Ом.}$$

7) Определяется суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2"

$$r_{\Sigma K2'} = R_{\Sigma K2} + r_{a1}, \text{Ом}; \quad (46)$$

$$r_{\Sigma K2'} = 0,0031 + 0,00014 = 0,00324 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{r_{\Sigma K2'}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{Ом}; \quad (47)$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{0,00364^2 + 0,0152^2} = 0,01563 \text{ Ом.}$$

Сопротивлений автоматических выключателей принято по [8]

$$r_{a1} = 0,00014 \text{ Ом};$$

$$x_{a1} = 0,00008 \text{ Ом};$$

$$r_{a2} = 0,007 \text{ Ом};$$

$$x_{a2} = 0,0045 \text{ Ом}.$$

Определяется ток трехфазного КЗ в расчётной точке короткого замыкания К1

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{I_{\text{б}}}{z_{*\Sigma\text{к1}}}, \text{ А}; \quad (48)$$

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{34,7}{0,0087} = 3988 \text{ А}.$$

Определение тока трехфазного КЗ в расчётных точках короткого замыкания К2, К2 "

$$I_{\text{К},i}^{(3)} = \frac{U_{\text{б2}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma\text{К},i}}, \text{ кА}; \quad (49)$$

$$I_{\text{к2}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0156} = 14,8 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к2}'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01563} = 14,79 \text{ кА};$$

Ударный ток в расчётных точках короткого замыкания точке определяется по формуле

$$i_{\text{у},\text{К},i} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у}} I_{\text{К},i}^{(3)}, \text{ кА}; \quad (50)$$

где $K_{\text{у}}$ - ударный коэффициент.

$$i_{\text{у},\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,988 = 10,2 \text{ кА};$$

$$i_{\text{у},\text{к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,8 = 29,3 \text{ кА};$$

$$i_{\text{у},\text{к2}'} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,79 = 29,2 \text{ кА}.$$

Периодическая составляющая тока двухфазного КЗ:

$$I_k^{(2)} = I_k^{(3)} \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (51)$$

$$I_{k1}^{(2)} = 3,988 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 3,45 \text{ кА}.$$

$$I_{k2}^{(2)} = 14,8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 12,8 \text{ кА}.$$

$$I_{k2'}^{(2)} = 14,79 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 12,7 \text{ кА}.$$

Постоянная времени [4]:

$$T_{a.c} = \frac{X_c}{\omega R_c}, \quad \omega = 2\pi f, \quad (52)$$

где f – частота питающей сети, Гц.

$$T_{a.c} = \frac{0,0058}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ с}.$$

Значение суммарного импульса квадратичного тока КЗ [4]:

$$B_k = B_{к.п} + B_{к.а}, \quad (53)$$

где $B_{к.п}$ – значение импульса квадратичного тока от периодической составляющей тока КЗ;

$B_{к.а}$ – значение импульса квадратичного тока от аperiodической составляющей тока КЗ.

При питании от энергосистемы [14]:

$$B_{к.п} = (I_c^{(3)})^2 t_{откл} \quad (54)$$

$$B_{к.а} = (I_c^{(3)})^2 T_{a.c} \left(1 - e^{-\frac{2t_{откл}}{T_{a.c}}} \right), \quad (55)$$

где $I_c^{(3)}$ – действующее значение тока короткого замыкания от системы.

$$B_{к.п} = (15)^2 \cdot 0,1 = 22,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$B_{к.а} = (15)^2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,1}{1,8 \cdot 10^{-5}}} \right) = 0,04 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$B_k = 22,5 + 0,04 = 22,54 \text{кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Значение приведенного времени процесса короткого замыкания определяется так [4]:

$$t_{п.п} = \frac{B_k}{(I_{\infty}^{(3)})^2}. \quad (56)$$

$$t_{п.пк1} = \frac{22,54}{(3,99)^2} = 1,4 \text{с}.$$

$$t_{п.пк2} = \frac{22,54}{(14,8)^2} = 0,1 \text{с}.$$

$$t_{п.пк2}' = \frac{22,54}{(14,79)^2} = 0,1 \text{с}.$$

Результаты расчета тока короткого замыкания в расчётных точках приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета тока короткого замыкания в расчётных точках

Место КЗ	R_{Σ} , Ом	X_{Σ} , Ом	Z_{Σ} , Ом	$I^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I^{(2)}$, кА	k_y	t_n , с
К1	0,00018	0,00582	0,00582	3,99	10,2	3,45	1,8	1,4
К2	0,0123	0,0595	0,06076	14,80	29,3	12,8	1,4	0,1
К2"	0,00324	0,0152	0,01563	14,79	29,2	12,7	1,4	0,1

Полученные значения тока трехфазного КЗ в точках К1, К2 и К2", а также значение ударного тока КЗ в данных точках, используются далее при выборе и проверке электрических аппаратов в сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ.

2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе для защиты сети 0,38/0,22 кВ базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, применяются:

- автоматические выключатели типа ВА – устанавливаются в шкафах РП-0,4 кВ трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ;

- плавкие предохранители типа ПН – 2 – устанавливаются во вводных распределительных устройствах (ВРУ) потребителей.

Условия выбора автоматических выключателей [4 – 6]:

- по значению номинального напряжения

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}, \text{ В}, \quad (57)$$

где $U_{\text{ном.а}}$ - номинальное значение напряжения автомата, В;

$U_{\text{ном.с}}$ - номинальное значение напряжения электрической сети, В.

- по значению номинального тока

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi} \text{ А}, \quad (58)$$

где I_{ϕ} – значения тока форсированного режима (максимального рабочего тока схемы), А.

- по значению тока расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}, \text{ А}. \quad (59)$$

- по значению тока автомата и его расцепителя

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}, \text{ А}. \quad (60)$$

- по значению тока теплового расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р}} \text{ А}, \quad (61)$$

где $I_{\text{р}}$ – значение расчетного тока, А.

- отстройка от пусковых токов

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} \text{ А}, \quad (62)$$

где $I_{\text{пуск}}$ – значение пускового тока, А

- отключающая способность автомата

$$I_{\text{ном.вим.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}'' \text{ А}, \quad (63)$$

где $I_{\text{к}}''$ – значение максимального тока трёхфазного короткого замыкания, А

Выбор и проверка автомата ввода для установки на ТП-10/0,4 кВ осуществляется по указанным выше условиям.

Результаты сравнения расчетных данных сети и каталога [4] приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор автомата ввода ТП-10/0,4 кВ

Условия выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные автомата ВА 55-43
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.с}} = 380 \text{ В}$	$U_{\text{ном.а}} = 380 \text{ В}$
По номинальному току автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ном.а}} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} = 1,0 \cdot 958,3 = 958,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном.а}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току расцепителя $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ном.р}} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} = 1,0 \cdot 958,3 = 958,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току автомата и его расцепителя $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току теплового расцепителя $I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{ф}}$	$1,1 \cdot I_{\text{ф}} = 1,1 \cdot 1341,6 = 1475,8 \text{ А}$	$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} = 1,25 \cdot I_{\text{ном.р}} = 1,25 \cdot 1600 = 2000 \text{ А}$
По условию отстройки от пусковых токов $I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.н.р}} \geq (6 - 10) I_{\text{ном.т}}$	$6 \cdot I_{\text{ном.т}} = 6 \cdot 958,3 = 5749,8 \text{ А}$	$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.н.р}} = 4 \cdot I_{\text{ном.р}} = 4 \cdot 1600 = 6400 \text{ А}$
По отключающей способности $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I''_{\text{к}}$	$I_{\text{п.о}} = I_{\text{к2}} = 14,8 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 45 \text{ кА}$

Выбор линейных автоматов.

Выбирается линейный автомат к потребителю №1 (станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей).

Расчётный ток I_p для выбора автоматов принимается равным току послеаварийного режима. Методика расчёта линейных автоматов аналогична выбору автомата ввода ТП-10/0,4 кВ.

Данные расчетов и каталога [4] приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор автомата к станции технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные автомата ВА52-35
$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.с}} = 380\text{В}$	$U_{\text{ном.а}} = 660\text{ В}$
$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{р}} = 241,6\text{ А}$	$I_{\text{ном.а}} = 250\text{ А}$
$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{р}} = 241,6\text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 250\text{ А}$
$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 250\text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 250\text{ А}$
$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р.}}$	$1,1 \cdot I_{\text{р}} = 1,1 \cdot 241,6 = 265,8\text{А}$	$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} = K \cdot I_{\text{ном.р}} = 1,25 \cdot 250 = 312,5\text{ А}$ Принимается $I_{\text{у.т.р}} = 400\text{ А}$
По отключающей способности $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}''$	$I_{\text{п.о}} = I_{\text{к2}}'' = 14,8\text{ кА}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 32\text{кА}$

Условия выполняются.

Окончательно выбирается автомат ВА52-35 для защиты и коммутации линии, питающей станции технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей. Результаты выбора остальных линейных автоматов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора линейных автоматов для защиты потребителей

Линия	Тип автомата	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{ном.а}}$, А	$I_{\text{ном.р}}$, А	$I_{\text{у.т.р}}$, А	$I_{\text{у.с.р}}$, А	$I_{\text{в.а}}$, кА
Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	ВА 52-35	660	241,6	250	250	400	2400	32
Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	ВА 52-34	660	397,5	400	400	630	2400	32

Продолжение таблицы 9

Линия	Тип автомата	$U_{ном},$ В	$I_p,$ А	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.р},$ А	$I_{у.т.р},$ А	$I_{у.е.р},$ А	$I_{в.а},$ кА
Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	ВА 52-35	660	223,6	250	250	250	2400	32
Механический комплекс	ВА 52-35	660	174,3	250	200	250	1800	32
Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	ВА 52-39	660	603,5	630	630	800	1800	55
Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	ВА 52-34	660	393,8	400	400	630	3600	32
Испытательный комплекс	ВА 52-35	660	185,1	250	200	250	3000	32
Административно-бытовой корпус	ВА 52-35	660	64,1	100	80	120	3000	32

Выбор низковольтных предохранителей. Плавкие низковольтные предохранители типа ПН – 2 устанавливаются во ВРУ потребителей. Выбирается шкаф ВРУ потребителей типа ЩРВ-48з(к)-1. Его конструкция показана на графическом листе №5. Выбор тока плавкой вставки предохранителя по нормальному режиму работы:

$$I_v \geq I_p^n, \quad (64)$$

где I_p^n – расчетный ток нормального режима.

Проверка тока плавкой вставки в послеаварийном режиме проводится по следующему выражению:

$$I_v \geq I_p^{нав} / k, \quad (65)$$

где $k = 1,4$ – коэффициент отстройки.

Проверка по отключающей способности

$$I_{пр.откл} \geq I_{к2}^{//}, \quad (66)$$

где $I_{пр.откл}$ – предельный отключающий ток предохранителя, кА.

Выбор предохранителя на примере П №1 (станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей) по условиям (64) – (66).

Условие (64)

$$200 \text{ A} > 134,3 \text{ A.}$$

Условие (65)

$$200 \text{ A} > 241,6/1,4=172,6 \text{ A.}$$

Условие (66)

$$40 \text{ кА} > 14,79 \text{ кА.}$$

Условия выполняются.

Окончательно выбирается предохранитель ПН-250 с $I_{np} = 250 \text{ A}$ и номинальным током плавкой вставки $I_{\epsilon} = 200 \text{ A}$ [11].

Аналогичные расчеты проводятся для остальных потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области и результаты расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор предохранителей

Потребитель	I_p^n , А	$I_p^{нав}$, А	I_{ϵ} , А	I_{np} , А	$I_{np.отж}$, кА	$I_p^{нав} /$ $1,4, \text{A}$
Станция технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей	134,3	241,6	200	250	40	172,6
Система собственных нужд (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция)	220,9	397,5	315	400	25	283,9
Станция технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей	124,3	223,6	160	250	40	159,7
Механический комплекс	96,8	174,3	125	250	40	124,5
Станция технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники	335,2	603,5	500	630	25	431,1

Продолжение таблицы 10

Потребитель	I_p^H , А	$I_p^{нав}$, А	$I_{в.}$, А	$I_{пр.э}$, А	$I_{пр.отк}$, кА	$I_p^{нав} /$ $1,4, А$
Станция технического обслуживания и ремонта автобусов и микроавтобусов	218,8	393,8	315	400	25	281,3
Испытательный комплекс	102,9	185,1	160	250	40	132,2
Административно-бытовой корпус	35,7	64,1	50	100	50	45,8

Известно, что электрические аппараты (ЭА) напряжением выше 1 кВ выбираются по следующим условиям:

- по номинальному напряжению

$$U_{ном.ЭА} \geq U_{ном.с}, \text{кВ}, \quad (67)$$

где $U_{ном.ЭА}$ - значение номинального напряжения электрического аппарата;

$U_{ном.с}$ значение номинального напряжения сети, в которой применяется ЭА;

- по максимальному рабочему току

$$I_{ном.ЭА} \geq I_{ф}, \text{А}, \quad (68)$$

где $I_{ном.ЭА}$ - значение номинального тока электрического аппарата;

$I_{ф}$ - значение тока форсированного режима;

- соответствие окружающей среде, рода установки (внешняя, внутренняя), конструктивному выполнению (стационарная, выдвижная);

- параметрам основных функциональных характеристик электрического аппарата.

Проверка электрического аппарата проводится по условиям работоспособности при сквозных токах КЗ.

Должны выполняться следующие условия:

- ток электродинамической стойкости

$$i_{дин} \geq i_y, \text{А}, \quad (69)$$

где i_y - расчетный ударный ток;

- допустимый ток термической стойкости с учётом допустимого времени термической устойчивости

$$I_{ТТ}^2 t \geq I_{К}^2 t, \text{ А}^2 \cdot \text{с} \quad (70)$$

где $I_{К}$ - расчетный ток КЗ, кА;

t - настоящее время отключения КЗ, с.

Выбираются высоковольтный выключатель, устанавливаемый на питающей РП-10 кВ для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ.

Данные расчетов и каталога [8] приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор и проверки высоковольтного выключателя

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41
По номинальному напряжению $U_{НОМ.В} \geq U_{НОМ.С}$	$U_{НОМ.С} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ.В} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{НОМ.В} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 231,2 \text{ А}$	$I_{НОМ.В} = 630 \text{ А}$
Род установки, ответственность окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	У2
По динамической устойчивости $i_{дин} \geq i_{у.к1}$	$i_{у.к1} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{дин} = 32 \text{ кА}$
По термической устойчивости $I_{ТТ}^2 t \geq B_{к}$	$B_{к} = 211,9 \text{ кА}^2 \text{с}$	$I_{ТТ}^2 t = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \text{с}$

Трансформаторы тока (ТТ), кроме приведённых ранее условий выбора, выбираются также по классу точности и вторичной нагрузке [7,8].

Нагрузка вторичных выводов ТТ [7,8]

$$Z_{розр} = 2 \cdot R_{к} + R_{пр} + R_{пер}, \text{ Ом} \quad (71)$$

где $R_{к}$ - значение сопротивления кабелей, Ом;

$R_{пр}$ - значение сопротивления приборов, Ом;

$R_{пер}$ - переходное значение сопротивления контактов, Ом.

Значение сопротивления кабелей [7,8]

$$R_k = \frac{l}{\nu S}, \text{ Ом} \quad (72)$$

где l - длина кабеля, м;

ν - удельная электропроводность, Ом/м;

S - стандартное сечение жилы кабеля.

Значение сопротивления приборов [7]:

$$R_{пр} = R_{пр.А} + R_{пр.В}, \text{ Ом};$$

$$R_{пр} = 0,02 + 0,02 = 0,04 \text{ Ом};$$

$$Z_{розр} = 2 \cdot 0,037 + 0,04 + 0,1 = 0,214 \text{ Ом};$$

Выбор трансформатора тока [4] приведён в таблице 12.

Таблица 12 - Выбор трансформатора тока

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные ТТ ТПОЛМ-10
По номинальному напряжению $U_{ном.ТТ} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.ТТ} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{ном.ТТ} \geq I_{ф}$	$I_{ф} = 56 \text{ А}$	$I_{ном.ТТ} = 250 \text{ А}$
По динамической устойчивости $i_{дин} \geq i_{у.к}$	$i_{у.к1} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{дин} = 32 \text{ кА}$
По термической устойчивости $I_{ТТ}^2 t \geq B_k$	$B_k = 211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{ТТ}^2 t = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$
По допустимой нагрузке вторичной обмотки $Z_{2ном} \geq Z_{2розр}$	$Z_{2розр} = 0,19 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,4 \text{ Ом}$

На ТП-10/0,4 кВ во вводных шкафах ВН устанавливается выключатели нагрузки и предохранители.

Осуществляется непосредственный выбор выключателей нагрузки (таблица 13).

Таблица 13 – Выбор выключателя нагрузки

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/400-10-У3
По номинальному напряжению $U_{\text{НОМ.В}} \geq U_{\text{НОМ.С}}$	$U_{\text{НОМ.С}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ.В}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{НОМ.В}} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 56 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.В}} = 250 \text{ А}$
Род установки, соответствие окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	У3
По коммутационной способности $I_{\text{НОМ.ВЫК}} \geq I_{\text{ВЫК.Р}}$ $I_{\text{НОМ.ВКЛ}} \geq I_{\text{ВКЛ.Р}}$	$I_{\text{ВЫКЛ.Р}} = 80,9 \text{ А}$ $I_{\text{ВКЛ.Р}} = 7,662 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.В}} = 250 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ.ВКЛ}} = 10 \text{ кА}$
По динамической устойчивости $i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{У.К}}$	$i_{\text{У.К1}} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}} = 25 \text{ кА}$
По термической устойчивости $I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} \geq B_{\text{К}}$	$B_{\text{К}} = 58,7 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

Высоковольтные предохранители выбираются по условиям [3,7]:

1) прочности изоляции

$$U_{\text{НОМ.П}} = U_{\text{НОМ.С}}, \text{ В}; \quad (73)$$

2) допустимого нагрева токами в длительном режиме

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq I_{\phi} \text{ А}, \quad (74)$$

где $I_{\text{НОМ.ВСТ}}$ - номинальный ток плавкой вставки, А;

3) соответствия окружающей среде;

4) несрабатывания при включении трансформатора

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1 \div 2) I_{\text{НОМ.Т}}, \text{ А}; \quad (75)$$

5) номинальным током патрона

$$I_{\text{НОМ.П}} \geq I_{\text{НОМ.ВСТ}}, \text{ А}; \quad (76)$$

б) отключающей способности

$$I_{\text{НОМ.ВЫК}} \geq I_{\text{К}}, \text{ кА}. \quad (77)$$

Выбор предохранителей для ТП-10/0,4 кВ [4] приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора высоковольтных предохранителей

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные предохранителя ПК103-10-100-31,5/У3
По номинальному напряжению $U_{\text{НОМ.П}} = U_{\text{НОМ.С}}$	$U_{\text{НОМ.С}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ.П}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq I_{\text{Ф}}$	$I_{\text{Ф}} = 56 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$
Род установки, соответствие окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	У3
Несрабатывания при переходных процессах $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1 \div 2) I_{\text{НОМ.Т}}$	$1,5 \cdot 38,5 = 57,7 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$
По номинальному току $I_{\text{НОМ.П}} \geq I_{\text{НОМ.ВСТ}}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.П}} = 100 \text{ А}$
По отключающей способности $I_{\text{НОМ.ВЫК}} > I_{\text{К1}}$	$I_{\text{К1}} = 4 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.ВЫК}} = 31,5 \text{ кА}$

Выводы по разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлена непосредственная реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Для достижения поставленной цели был произведен расчет электрических нагрузок, рассчитана мощность трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

В связи с тем, что основную часть потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области составляют электроприемники I и II категории, на ТП-10/0,4 кВ принята установка двух трансформаторов ТМЗ-630/10. Конструктивно ТП выполнена закрытой с применением комплектных распределительных устройств напряжениями 10 кВ и 0,4 кВ.

Осуществлены выбор схемы электроснабжения и конструктивного выполнения электрических сетей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области. Питание потребителей I и II категорий базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществлено по радиальной схеме от ТП-10/0,4 кВ с применением двух кабелей (с учётом резервирования) согласно [2].

Для питания потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области выбраны кабельные линии, выполненные кабелями марки АВВГ различных сечений с последующей их проверкой по допустимой потере напряжения. Выбрано и проверено сечение кабелей АСБ-10(3х25), питающих ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ энергосистемы на напряжении 10 кВ.

В результате проведённого расчета, для защиты сетей и потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области выбраны автоматы типа ВА, которые устанавливаются в РП-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, а также предохранители типа ПН-2, устанавливаемые во ВРУ потребителей. Выбраны и проверены аппараты номинальным напряжением 10 кВ: выключатель LF1-10,5-12,5/630-У2-41; предохранитель ПК103-10-100-31,5/У3; выключатель нагрузки типа ВНПу-10/250-10-У3; трансформатора тока типа ТПОЛМ-10.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения

В соответствии с [18-20] общее руководство и ответственность за организацию и проведение работы по охране труда возложены на руководителя хозяйства, а в подразделениях – непосредственно на руководителей этих подразделений.

К организационным мероприятиям по безопасности труда относятся [18-20] мероприятия, которые предполагают наличие медицинских и технических осмотров, повышения квалификации, предупреждение несчастных случаев, контроль за выполнением гарантий.

Организация несёт ответственность за расследование несчастных случаев, выявление причин профессиональных заболеваний.

В организациях с численностью более 10 работников работодателями создаются комитеты (комиссии) по охране труда.

В их состав на паритетной основе входят представители работодателей, профессиональных профсоюзов или иного уполномоченного работниками представительного органа [18-20].

Организация и координация деятельности, разработка отраслевых нормативно-правовых актов по улучшению условий и охране труда, осуществления контроля за их выполнением в каждой организации, с численностью более 50 работников создаётся служба охраны труда или вводится должность специалиста по охране труда, имеющего соответствующую подготовку или опыт работы в этой отрасли.

В организации численностью менее 50 работников решение о создании службы охраны труда или введении должности специалиста по охране труда

принимается работодателем с учётом специфики деятельности организации, или возлагаются обязанности на главных специалистов приказом руководителя.

При отсутствии в организации службы охраны труда (специалиста по охране труда) работодатель заключает договор со специалистами или с организациями, оказывающими услуги в области охраны труда [18-20].

На работах с вредными или опасными условиями труда работникам выдаются сертифицированные средства индивидуальной защиты, смывающие средства в соответствии с нормами, утверждёнными в порядке, определённом Правительством Российской Федерации.

Приобретение, хранение, стирка, чистка, ремонт средств индивидуальной защиты работников осуществляется за счёт средств работодателя [18-20].

Все работники организации, в том числе и руководитель обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знаний.

Для всех поступающих на работу лиц, работодатель обязан проводить инструктаж по охране труда, организовать обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказания первой помощи пострадавшим.

Финансирование мероприятий по улучшению условий и охране труда в размере не менее 2% суммы затрат на производство продукции.

Работник не несёт расходов на финансирование мероприятий по улучшению условий и охране труда.

Согласно требованиям [18-20], перед началом любого вида работ на электрооборудовании, электроустановках и в электрических сетях системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области, необходимо провести организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

К организационным мероприятиям относятся [18-20]:

- выдача нарядов и распоряжений для проведения работ в электроустановках;

- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- непосредственное проведение инструктажей (вводного, на рабочем месте, плановых, внеплановых);
- допуск рабочей бригады к работе;
- надзор во время выполнения работ бригадой;
- оформление перерывов в работе;
- перевод на другое рабочее место (при необходимости);
- окончание работ в электроустановках.

К техническим мероприятиям относятся [15-19]:

- производство необходимых коммутационных переключений;
- принятие мер, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных аппаратов путём применения их блокировок, а также расшивке цепи, отсоединения кабельных и воздушных вводов, снятием отдельных коммутационных аппаратов и (или) их приводов (ключей) и т.д.;
- вывесить запрещающие плакаты на приводах коммутационных аппаратов и ключах управления;
- убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях путём использования технических средств (указателей напряжения и т.д.);
- наложить переносное заземление там, где это необходимо (на токоведущих частях электроустановок).

В случае, если на электрооборудовании установлены заземляющие ножи, необходимо их включить. В этом случае переносное заземление разрешается не устанавливать;

- оградить рабочее место, а также токоведущие части, оставшиеся под напряжением;
- вывесить плакаты по технике безопасности (предписывающие и предупреждающие).

Необходимо помнить, что в электроустановках всех типов и классов напряжения, согласно требований [18-20], должен быть обеспечен видимый разрыв.

Не исключением являются электрические сети и электрооборудование системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

В электроустановках до 1 кВ упомянутый видимый разрыв обеспечивают рубильники (при их отключении) и предохранители (при их снятии), а в сетях выше 1 кВ – разъединители (при их отключении) и предохранители (при их снятии).

Кроме всего прочего, при выполнении работ в электроустановках необходимо пользоваться специальными защитными средствами:

- специальной одеждой и обувью (выдаётся работодателем);
- специальными техническими инструментами и приспособлениями (обязательно должны быть поверены);
- специальными устройствами и приспособлениями индивидуальной защиты (диэлектрические коврики, подставки, перчатки, каски и др.).

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [18-20].

При этом всем прошедшим обучение присваивается соответствующая группа допуска по электробезопасности.

Всего существует пять групп по электробезопасности.

Каждая последующая группа включает в себя знание предыдущей, а также новые знания и навыки, присущие данной группе.

При назначении ответственных за безопасное проведение работ обязательно должна учитываться группа по электробезопасности (не ниже установленной).

Также при работе в электроустановках необходимыми являются навыки оказания первой медицинской помощи до приезда врача.

Каждый член бригады должен владеть навыками выполнения искусственного дыхания, непрямого массажа сердца, освобождения пострадавшего от электрического напряжения и т.д.

Все данные аспекты являются строго обязательными к выполнению при работе в электроустановках и электрических сетях.

3.2. Расчёт контура заземления цеховой ТП

Повреждения изоляции электрооборудования может привести к появлению на корпусах и других металлических частях (потенциально опасных частях) потенциалов, опасных для жизни человека.

Поэтому все потенциально опасные части должны быть заземлены или занулены.

Согласно [3], в четырехпроводных сетях трехфазного тока, глухое заземление нейтрали является обязательным, а в трехфазных сетях до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью электрооборудование должно быть занулено; в электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью выполняется заземление.

Необходимо рассчитать заземляющее устройство трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения с двумя трансформаторами 630 кВА.

Сеть 10 кВ работает с изолированной нейтралью, на стороне низкого напряжения нейтраль трансформатора глухозаземлена.

Конструкция заземляющего устройства изображена на рисунках 2 и 3.

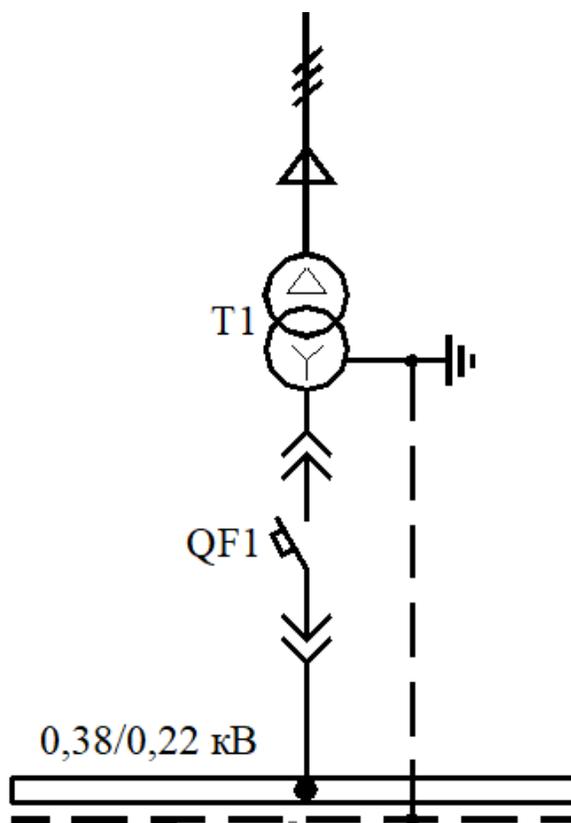


Рисунок 2 - Принципиальная схема заземления

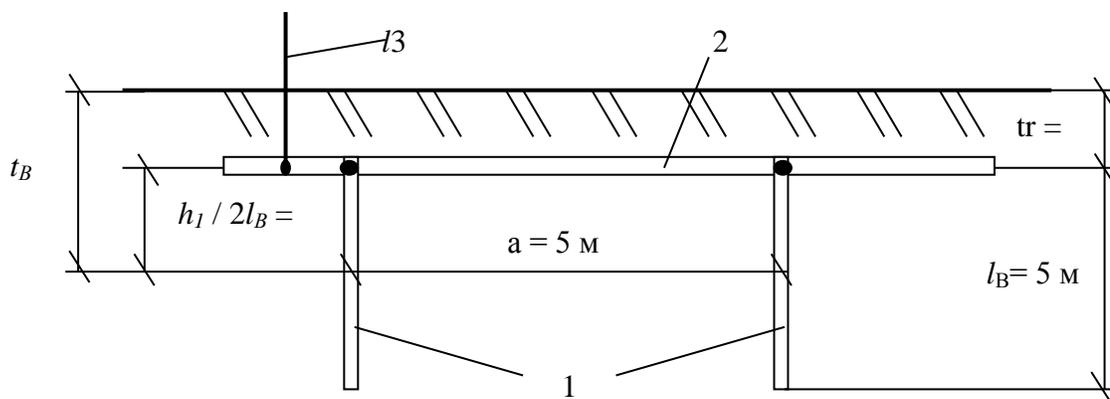


Рисунок 3 - Конструкция заземляющего устройства ТП-10/0,4 кВ:

- 1 – вертикальный заземлитель; 2 - горизонтальный заземлитель;
- 3 - заземляющий проводник

При выполнении заземляющих устройств одновременно для заземления электрооборудования до 1 кВ и выше 1 кВ принимается сопротивление заземляющего устройства той установки, где оно является минимальным.

В электрических устройствах выше 1 кВ величина сопротивления должна быть не более 10 Ом.

Со стороны низкого напряжения 0,38/0,22 кВ $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$.

Окончательно принимается $R_3.\text{норм} \leq 4 \text{ Ом}$.

Значение удельного сопротивление грунта в месте установки заземляющего устройства трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, равняется $\epsilon_{\text{изм}} = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Значение тока замыкания на землю на стороне 10 кВ:

$$I_3 = \frac{U \cdot L}{350}, \text{ А.} \quad (78)$$

По условию (78)

$$I_3 = \frac{10 \cdot 10,5}{350} = 0,3 \text{ А}$$

Намечается выполнить заземляющее устройство в виде прямоугольника четырёхугольника, для чего предусматривается использование вертикальных стержней длиной 5 м с диаметром 12 мм, соединённых между собой стальной полосой размерами 40 х 4 мм на глубине 0,8 м.

Расчётное сопротивление грунта для стержневых заземлителей [5]:

$$\rho_{\text{расч}} = K_c \cdot \rho, \quad (79)$$

где K_c – значение сезонного коэффициента.

По условию (79) для горизонтальных и вертикальных заземлителей контура заземления

$$\rho_{\text{расч.в}} = K_c \cdot \rho = 1,9 \cdot 110 = 209 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_{\text{расч.г}} = K_c \cdot \rho = 5 \cdot 110 = 550 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Сопротивление вертикального заземлителя:

$$R_{\text{во}} = \frac{0,336 \cdot \rho_{\text{расч.в}}}{l} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot h_{\text{ср}} + l}{4 \cdot h_{\text{ср}} - l} \right), \quad (80)$$

где l - длина вертикального заземлителя, м;

d - диаметр круглой стали, м;

$h_{\text{ср}}$ - расстояние от поверхности до середины вертикального заземлителя, м.

По условию (80)

$$R_{BO} = \frac{0,336 \cdot 209}{5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,012} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 47,32 \text{ Ом.}$$

К заземляющему устройству присоединена нейтраль обмотки трансформатора ТМЗ-630/10, поэтому, согласно требованиям [1], сопротивление заземляющего устройства должно быть менее либо равно значению 4 Ом.

Сопротивление повторного заземления $R_{пз}$ не должно быть менее 30 Ом при $\rho_{расч} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и ниже.

При $\rho_{расч} > 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ПУЭ разрешает увеличивать сопротивление повторного заземления до:

$$R_{BO} = \frac{30 \cdot \rho_{расч.в}}{100}, \text{ Ом.} \quad (81)$$

По условию (81)

$$R_{BO} = \frac{30 \cdot 209}{100} = 62,71 \text{ Ом.}$$

Для повторного заземления выбирается стержень, длина которого составляет 5 м и диаметр 16 мм, сопротивление которого $47,32 < 62,71 \text{ Ом}$.

Общее сопротивление всех повторных заземлений:

$$R_{ПЗ\Sigma} = \frac{R_{ПЗ}}{n} = \frac{R_{BO}}{n}, \text{ Ом,} \quad (82)$$

где n - число повторных заземлений.

По условию (82)

$$R_{ПЗ\Sigma} = \frac{47,33}{6} = 7,89 \text{ Ом.}$$

Расчётное сопротивление заземления нейтрали трансформатора с учётом использования повторных заземлений:

$$R_{И} = \frac{R_3 \cdot R_{ПЗ\Sigma}}{R_{ПЗ\Sigma} - R_3}, \text{ Ом.} \quad (83)$$

По условию (83)

$$R_{И} = \frac{4 \cdot 7,89}{7,89 - 4} = 8,11 \text{ Ом.}$$

Теоретическое число стержней:

$$n_T = \frac{R_{ВО}}{R_{И}}, \text{ шт.} \quad (84)$$

По условию (84)

$$n_T = \frac{47,33}{8,11} \approx 5,84 \text{ шт.}$$

Принимается 6 вертикальных заземлителей, которые располагаются по периметру проектируемого контура заземления ТП-10/0,4 кВ.

Сопротивление полосы связи:

$$R_{ГО} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г.}}}{l} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \right), \quad (85)$$

где b – ширина полосы, м,

l – глубина заложения заземлителя, м.

По условию (85)

$$R_{ГО} = \frac{0,366 \cdot 550}{22,5} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 22,4^2}{0,04 \cdot 0,8} \right) = 40,26 \text{ Ом.}$$

при $n = 6$, $a/l = 2,5/5 = 0,5$, $z_B = 0,65$ и $z_T = 0,4$ (по таблицам 12.4 и 12.5[12]).

Тогда действительное число стержней по формуле:

$$n_D = \frac{R_{ВО} \cdot \eta_T}{\eta_B} \cdot \lg \left(\frac{1}{R_{И} \cdot \eta_T} - \frac{1}{R_{ГО}} \right), \quad (86)$$

$$n_D = \frac{47,33 \cdot 0,44}{0,65} \cdot \lg \left(\frac{1}{8,11 \cdot 0,4} - \frac{1}{40,26} \right) = 8,26.$$

Принимается к монтажу 9 стержней и с учетом повторных заземлений:

$$R_{\text{расч}} = \frac{R_{И} \cdot R_{ПЗ\Sigma}}{R_{ПЗ\Sigma} + R_{И}}, \text{ Ом.} \quad (87)$$

$$R_{\text{расч}} = \frac{8,11 \cdot 7,89}{8,11 + 7,89} = 3,94 < 40 \text{ м.}$$

Условия выбора и проверки выполняются.

Окончательно принимается к монтажу 9 стержней и с учетом повторных заземлений.

Выводы по разделу 3

В результате выполнения третьего раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда.

Описаны мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Произведён расчёт контура заземления ТП-10/0,4 кВ, в результате которого принимается к монтажу 9 стержней и с учетом повторных заземлений.

Показано, что все требования к спроектированному контуру заземления ТП-10/0,4 кВ соблюдены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы осуществлена реконструкция системы электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Такая система электроснабжения состоит из распределительного пункта (РП-10 кВ), от которого на напряжении 10 кВ получает питание трансформаторная подстанция (ТП-10/0,4 кВ), распределяющие электроэнергию на напряжении 0,38/0,22 кВ потребителям базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

Канализация электроэнергии в системе электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области выполнена кабельными линиями электропередачи (прокладка – в железобетонных лотках) на всех её звеньях.

Для достижения поставленной цели был произведен расчет электрических нагрузок, рассчитана мощность трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

В связи с тем, что основную часть потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области составляют электроприемники I и II категории, на ТП-10/0,4 кВ принята установка двух трансформаторов ТМЗ-630/10.

Конструктивно ТП выполнена закрытой с применением комплектных распределительных устройств напряжениями 10 кВ и 0,4 кВ.

Осуществлены выбор схемы электроснабжения и конструктивного выполнения сетей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области.

В результате проведенного расчета, для защиты сетей и потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской

области выбраны автоматы типа ВА, которые устанавливаются в РП-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, а также предохранители типа ПН-2, устанавливаемые во ВРУ потребителей.

Выбраны и проверены аппараты номинальным напряжением 10 кВ: выключатель LF1-10,5-12,5/630-У2-41; предохранитель ПК103-10-100-31,5/У3; выключатель нагрузки типа ВНПу-10/250-10-У3; трансформатора тока типа ТПОЛМ-10.

Питание потребителей I и II категорий базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области осуществлено по радиальной схеме от ТП-10/0,4 кВ с применением двух кабелей (с учётом резервирования) согласно [2].

Для питания потребителей базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области выбраны кабельные линии, выполненные кабелями марки АВВГ различных сечений с последующей их проверкой по допустимой потере напряжения.

Выбрано и проверено сечение кабелей АСБ-10(3х25), питающих ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ энергосистемы на напряжении 10 кВ.

Также в работе произведены расчёты заземления ТП-10/0,4 кВ.

Разработанная система электроснабжения базы производственного обслуживания Всеволожского района Ленинградской области отвечает требованиям нормативных документов по качеству и надёжности электроснабжения потребителей, а также критериям электробезопасности и экономичности.

Результаты работы можно использовать для проведения аналогичных разработок и выполнения типичных заданий на промышленных предприятиях страны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // РД РАО «ЕЭС России». – М.: Министерство энергетики, 2013.
3. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
5. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», Госстрой РФ, 2004. 73 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. 608 с.
7. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
8. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
9. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
10. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. -

Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

11. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

12. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.

13. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.

14. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).

15. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. 343с.

16. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.

17. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

18. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2008 г. 184 с.

19. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.

20. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.