

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

"Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого"

Институт энергетики и транспортных систем  
кафедра "Электрические системы и сети"

Работа допущена к защите  
зав. кафедрой, д.т.н.

\_\_\_\_\_ Е.Н. Попков  
" " \_\_\_\_\_ 2018 г.

## ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

«Проектирование системы электроснабжения  
торгового комплекса в Выборгском районе Санкт-Петербурга»

Направление: «Электроэнергетика и электротехника»

Выполнил студент  
группы 353212/1

Е.А. Хоружев

Руководитель,  
доцент кафедры ЭСиС, ИЭиТС, к.т.н., доцент

Г.А. Першиков

Санкт-Петербург

2018 г.

## АННОТАЦИЯ

В выпускной работе выполнено проектирование системы электроснабжения торгового комплекса в Санкт-Петербурге.

Приведена краткая характеристика потребителей электрической энергии торгового комплекса; определены расчетные нагрузки; осуществлён выбор мощности и количества трансформаторов трансформаторной подстанции; выбор схемы и конструктивного выполнения питающих и распределительных сетей; расчет распределительной сети электроснабжения торгового комплекса напряжением 0,4 кВ; выбор типа и сечения проводников; проверка сети по потерям напряжения; расчёт токов короткого замыкания; выбор и проверка электрических аппаратов; расчёт технико – экономических показателей системы электроснабжения торгового комплекса, мероприятия по охране труда, расчет заземления ТП 10/0,4 кВ.

Структура работы представлена введением, 11 главами, заключением и списком литературы. В работе использовано 16 таблиц, 3 рисунка. Общее количество страниц дипломной работы – 65.

Ключевые слова: **система электроснабжения, электрические нагрузки, торговый комплекс, распределение электроэнергии, потребитель электроэнергии.**

## ABSTRACT

In the final work, the design of the electricity supply system for the shopping complex in St. Petersburg was completed.

Brief description of consumers of electric energy of the shopping complex is given; the design loads are determined; the choice of capacity and number of transformers of the transformer substation was made; choice of the scheme and design of the supply and distribution networks; calculation of the distribution network of power supply of a shopping mall with a voltage of 0.4 kV; choice of type and section of conductors; checking the network for voltage loss; calculation of short circuit currents; selection and testing of electrical apparatus; calculation of technical and economic indicators of the electricity supply system of the trade complex, measures for labor protection, calculation of the grounding of a 10 / 0.4 kV transformer substation.

The structure of the work is represented by an introduction, 11 chapters, conclusion and list of literature. In this paper we used 16 tables, 3 drawings. The total number of pages of the thesis is 65.

Key words: **power supply system, electric loads, shopping complex, electricity distribution, electric power consumer.**

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Характеристика торгового комплекса	6
2 Выбор схемы электроснабжения силовой сети торгового комплекса	8
3 Конструктивное выполнение питающей и распределительной силовой сети торгового комплекса	10
4 Расчет электрических нагрузок торгового комплекса	12
4.1 Определение расчетной силовой нагрузки торгового комплекса	12
4.2 Определение расчетной нагрузки освещения торгового комплекса	14
4.3 Определение суммарной расчетной нагрузки торгового комплекса	16
5 Выбор количества и мощности силовых трансформаторов	18
5.1 Выбор и проверка силовых трансформаторов	18
5.2 Конструктивное выполнение трансформаторной подстанции	20
6 Выбор мощности компенсирующих устройств	22
7 Выбор и проверка сечения проводников	23
7.1 Выбор сечения кабельной линии 10 кВ	23
7.2 Выбор кабельных линий напряжением до 1 кВ	25
7.3 Проверка кабельных линий до 1 кВ по потерям напряжения	30
8 Расчёт токов короткого замыкания	33
9 Выбор и проверка электрических аппаратов	38
9.1 Выбор электрических аппаратов напряжением до 1 кВ	38
9.2 Выбор электрических аппаратов напряжением 10 кВ	43
10 Расчёт технико – экономических показателей системы электроснабжения торгового комплекса	48
10.1 Определение потерь мощности и электроэнергии	48
10.2 Расчёт экономических показателей системы электроснабжения	52
11 Охрана труда	55
11.1 Обеспечение электробезопасности	55
11.2 Расчет заземления ТП – 10/0,4 кВ	59
Заключение	63
Список литератур	

<b>4.3 Определение суммарной расчетной нагрузки торгового комплекса.....</b>	<b>17</b>
<b>9.2 Выбор электрических аппаратов напряжением 10 кВ.....</b>	<b>43</b>
<b>-.....</b>	<b>51</b>
<b>квар-ч.....</b>	<b>51</b>

## Введение

Целью данной работы является разработка системы электроснабжения торгового комплекса, находящегося в крупном городе.

В результате работы необходимо спроектировать систему электроснабжения, которая отвечает требованиям надёжности и экономичности, предъявляемых к ней нормативными документами.

Для достижения поставленной задачи в работе проводятся следующие исследования: приведена краткая характеристика потребителей электрической энергии торгового комплекса; произведено определение расчетных нагрузок торгового комплекса; осуществлён выбор мощности и количества трансформаторов понизительной трансформаторной подстанции; выбор схемы и конструктивного выполнения питающих и распределительных сетей; расчет распределительной сети электроснабжения торгового центра напряжением 0,4 кВ; выбор типа и сечения проводников; расчёт токов короткого замыкания; проверка сети по потерям напряжения; выбор и проверка электрических аппаратов; расчёт технико – экономических показателей системы электроснабжения торгового комплекса, описаны мероприятия по охране труда, выполнен расчет заземления ТП 10/0,4 кВ.

Для выполнения указанного задания задана потребляемая мощность потребителей торгового центра, а также их категории по надёжности электроснабжения.

Также задан план расположения потребителей торгового центра.

Расчёты проводятся с использованием рекомендованной литературы, а также нормативных документов.

## **1 Характеристика торгового комплекса**

Проектируемый торговый комплекс предполагается соорудить на окраине г. Санкт – Петербург. В состав современного торгового комплекса входят потребители, имеющие значительные электрические нагрузки и работающие на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Состав электроприёмников проектируемого торгового комплекса приведён в таблице 1.1. Основой для проектирования объекта являются максимальные значения установленных нагрузок, согласованные с энергоснабжающей организацией и внесённых в проект.

Электроснабжение торгового комплекса осуществляется от трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ. По степени надежности электроснабжения, проектируемые объекты относятся ко II категории потребителей по надёжности электроснабжения (табл.1).

Проектируемый торговый комплекс, согласно современных требований [1,2], должен быть оснащён полным комплексом системы жизнеобеспечения (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.), который размещается в подвальном помещении комплекса. Также здесь же располагается станция технического обслуживания и ремонта автомобилей.

На первом этаже непосредственно располагаются основные потребители торгового центра, в частности:

- пиццерия (предприятие общественного питания, полностью электрифицированное);

- спортивно – развлекательный комплекс (кафе, бар, кинотеатр, боулинг, аттракционы и т.п.);

- торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты и т.п.), сдающиеся в аренду;

- непродовольственный супермаркет;

- мини – пекарня (предприятие общественного питания, полностью электрифицированное);

- продовольственный супермаркет.

Таблица 1.1 - Характеристика потребителей торгового комплекса

№ п/п	Потребитель	Установленная проектная нагрузка, Руст., кВт	Площадь, м <sup>2</sup>	Категория по надежности ЭС
1	Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	171,0	864	II
2	Система собственных нужд комплекса (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	277,0	144	II
3	Пиццерия с кафе и магазином	156,0	180	II
4	Спортивно – развлекательный комплекс	123,0	168	II
5	Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	375,0	180	II
6	Продовольственный супермаркет	274,0	504	II
7	Непродовольственный супермаркет	115,0	216	II
8	Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	46,0	252	II

## 2 Выбор схемы электроснабжения силовой сети торгового

## **комплекса**

Силовая сеть торгового комплекса является непосредственным звеном системы электроснабжения города и должна логично и гармонично «вписываться» в её структуру.

Проектируемый торговый комплекс относится ко II категории надёжности. Согласно [2], электроприёмники II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для них, при нарушении электроснабжения от одного из источников питания, допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады. По этой причине на ТП-10/0,4 кВ установлено 2 силовых трансформатора.

Электроснабжение торгового комплекса осуществляется от энергосистемы (РП – 10 кВ) двумя кабельными линиями электропередачи, которые питают подстанцию (ТП-10/0,4 кВ), преобразующую номинальное напряжение 10 кВ до напряжения 0,38/0,22 кВ для непосредственного питания потребителей проектируемого торгового комплекса.

В работе принимается схема питания ТП-10/0,4 кВ с необходимым уровнем резервирования – двухлучевая схема с двухсторонним питанием с устройством автоматического включения резерва (АВР) на шинах низкого напряжения. Секционный автомат QFB1 в нормальном режиме отключён, при исчезновении напряжения на одной из секций шин 0,38/0,22 кВ он включается автоматически под действием АВР и питание потребителей секции шин, на которой исчезло напряжение, осуществляется от рабочей секции. Этот аспект работы в аварийном режиме необходимо учесть при выборе силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ. Также для обеспечения дополнительного резервирования на стороне 10 кВ на ТП-10/0,4 кВ



установлена ремонтная перемычка с секционным разъединителем, который в нормальном режиме работы отключён.

Для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ в схеме предусмотрена установка следующих аппаратов [3]:

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

На стороне низкого напряжения ТП-10/0,4 кВ для каждого трансформатора предусмотрены автоматы ввода. Питающая сеть 0,38/0,22 кВ обеспечивает питанием вводные распределительные устройства (ВРУ) каждого объекта торгового комплекса кабельными линиями по радиальным схемам от шин низкого напряжения ТП-10/0,4 кВ. При этом каждый объект питается двумя кабельными линиями от разных секций шин, т.к. все указанные объекты относятся ко II категории надёжности и требует двух независимых источников питания согласно [1]. На стороне 0,38/0,22 кВ для питания потребителей II категории от ВРУ, согласно [1], применяются двухлучевые схемы без АВР.

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

- в распределительном устройстве РП-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ: линейные автоматы;
- во ВРУ потребителей: плавкие предохранители и рубильники.

От ВРУ получают питание распределительные щиты (РЩ) объектов, которые в данной работе не рассматриваются, т.к. согласно проекта и норм [1] проектируются и выбираются непосредственно потребителями.

Схема электроснабжения торгового комплекса представлена на графическом листе №2.

### **3 Конструктивное выполнение питающей и распределительной**

## силовой сети торгового комплекса

Сеть 10 кВ, обеспечивающая питанием двухтрансформаторную подстанцию торгового комплекса ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ, выполняется кабельными линиями и прокладывается в траншее [3].

Кабельная траншея (рис.3.1) - это искусственное сооружение определенной глубины и ширины, которое вырыто в земле.

Процесс прокладки силовых кабелей в траншеях состоит из операций:

- 1) подготовительные работы;
- 2) рытье траншей и котлованов;
- 3) доставка барабанов с кабелем к месту монтажа;
- 4) размотки кабеля и укладка их в траншеи;
- 5) защита кабелей от механических повреждений;
- 6) засыпания траншеи;
- 7) уплотнения грунта;
- 8) вывоз лишнего грунта.

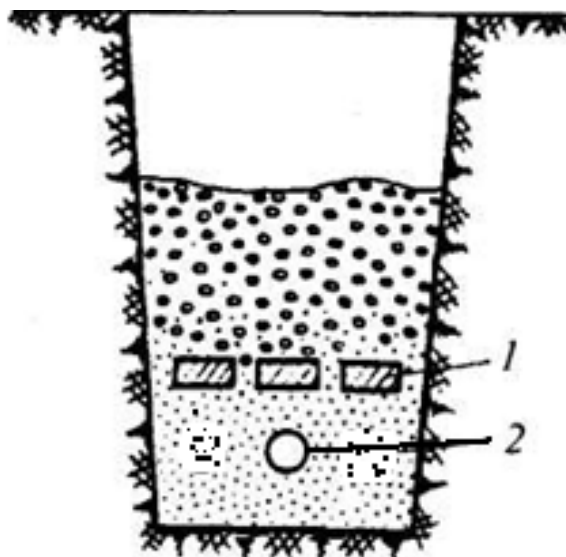


Рисунок 3.1 - Поперечный разрез кабельной траншеи: 1 – красный кирпич для защиты кабеля; 2 – силовой кабель

Преимущества прокладки силовых кабелей в траншеях проявляются в малом объеме строительных работ, создании хороших условий для охлаждения кабелей. Недостатком является возможность механического повреждения кабеля во время земляных работ, а также значительное усложнение ремонтных работ при повреждении кабеля.

Распределительная сеть напряжением 0,38/0,22 кВ, питающая ВРУ потребителей от шин низкого напряжения ТП-10/0,4 кВ, прокладывается в каналах [3]. Т.к. торговый центр является строящимся сооружением, и предполагаемые кабельные линии будут иметь большие сечения, применяется инновационный способ монтажа данных кабелей в железобетонных каналах (технологических отверстиях строительных железобетонных плит перекрытия). При вводе во ВРУ, между выходом с указанной плиты до ВРУ, дополнительно применяются унифицированные железобетонные каналы из сборных плит типа СК, обеспечивающие защиту кабелей от механических повреждений, удобство монтажа, обслуживания и ремонта, а также электробезопасность (рис.3.2). Данный способ монтажа значительно минимизирует затраты, т.к. используются элементы строительных конструкций сооружения и дополнительных вложений практически не требуется.

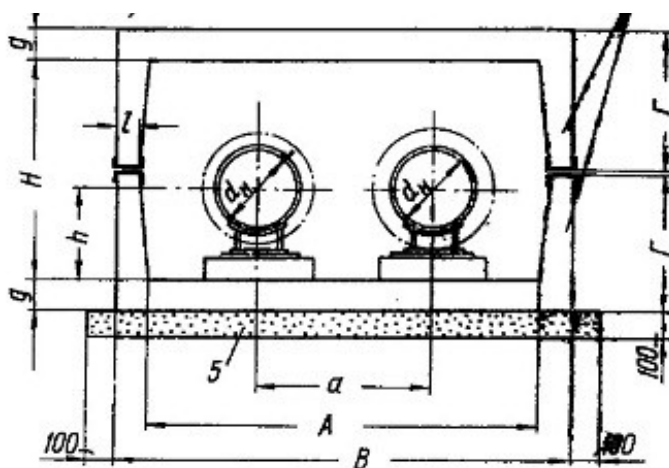


Рисунок 3.2 – Унифицированные железобетонные каналы из сборных плит типа СК

Узлы монтажа кабельных линий приведены на графическом листе №5.

#### **4 Расчет электрических нагрузок торгового комплекса**

##### **4.1 Определение расчетной силовой нагрузки торгового комплекса**

Расчетные нагрузки на вводе объектов (потребителей) торгового комплекса определяются по значениям установленной проектной нагрузки,  $P_{уст}$ , кВт. Расчетная активная нагрузка на вводе объектов торгового комплекса, кВт, определяется по формуле:

$$P_{p.} = P_{уст.} K_o, \quad (4.1)$$

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 торгового комплекса, квар:

$$Q_{p..} = P_{p.} \operatorname{tg} \varphi_o, \quad (4.2)$$

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

Полная расчетная нагрузка на вводе объектов торгового комплекса  $S_{p.o.з.}$ , кВА, определяется по формуле:

$$S_{p..} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p..}^2}. \quad (4.3)$$

Расчет нагрузок на вводе объектов торгового комплекса осуществляется на примере станции технического обслуживания и ремонта автомобилей по формулам (4.1) – (4.3)

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

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

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

Результаты расчетов для остальных объектов торгового комплекса проведены аналогично и сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчётные нагрузки на вводе объектов (потребителей) торгового комплекса

№ по з	Объект (потребитель)	Установленная проектная нагрузка, $P_{уст.}$ , кВт	Коэффициент реактивной мощности $\text{tg } \varphi$	Активная расчетная нагрузка, $P_{р.о.з.}$ , кВт	Реактивная расчетная нагрузка, $Q_{р.о.з.}$ , кВАр	Полная расчетная нагрузка, $S_{р.о.з.}$ , кВА
1	Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	171,0	0,27	171,0	45,6	176,7
2	Система собственных нужд комплекса (бойлерная, компрессорная, машинное отделение, вентиляция и т.д.)	277,0	0,32	277,0	89,4	290,7
3	Пиццерия с кафе и магазином	156,0	0,32	156,0	49,4	163,5
4	Спортивно – развлекательный комплекс	123,0	0,26	123,0	32,3	127,4
5	Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	375,0	0,62	375,0	232,5	441,2
6	Продовольственный супермаркет	274,0	0,32	274,0	88,9	287,9
7	Непродовольственный супермаркет	115,0	0,62	115,0	71,3	135,3
8	Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	46,0	0,20	46,0	9,2	46,9

## 4.2 Определение расчетной нагрузки освещения торгового комплекса

Рассчитывается расчётная нагрузка наружного (уличного) и внутреннего освещения торгового комплекса.

Удельная нагрузка для расчета наружного (уличного) освещения зависит от вида фасада сооружения (стороны здания), принимаемая в зависимости от градостроительства по нормативным данным. Площадь торгового комплекса  $S=420000 \text{ м}^2$  (42 га). Исходя из этого, определяются длины территорий для наружного освещения (табл. 4.2). Также в расчётную длину освещаемого пространства включаются прилегающие территории, непосредственно относящиеся к торговому комплексу (наружная парковка, узлы приёмки и выдачи товаров, освещение прилегающих участков улиц и т.д.).

Таблица 4.2 – Данные для расчета наружного (уличного) освещения

Сторона здания	Категория	Длина, км	Удельная нагрузка, кВт/км
Задний фасад	Б	0,5	10,0
Боковой фасад	Б	0,84	10,0
Парадный фасад	А	0,5	37,5
Лицевой фасад	А	0,84	37,5

Для наружного (уличного) освещения используются светодиодные светильники:

-для категории А: светильник LAD LED R500-3-120-6-165K ( $\cos\varphi = 0,95$ ;  $\text{tg } \varphi = 0,328$ );

-для категории Б: светильник LAD LED R500-1-120-6-55K ( $\cos\varphi = 0,95$ ;  $\text{tg } \varphi = 0,328$ ).

Активная расчетная нагрузка наружного уличного освещения

$$P_{p.y.o.} = \sum_{i=1}^n P_{y\partial.y.o.i} \cdot l_i, \quad \text{кВт}, \quad (4.4)$$

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

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

$$P_{р.у.о.} = 37,5 \cdot (0,5 + 0,84) + 10 \cdot (0,5 + 0,84) = 63,7 \quad .$$

Активная расчетная нагрузка внутреннего освещения, с учётом подсветки торгового комплекса, холла, внутренней парковки, проходов, коридоров, помещений и т.д. определяется по формуле [4]:

$$P_{р.вн.} = P_{уд.вн.} \cdot F, \text{ кВт}, \quad (4.5)$$

где  $P_{уд.вн.}$  – удельная нагрузка внутреннего освещения торгового комплекса, кВт/га, принимается равной 0,6 кВт/га;

$F$  – суммарная площадь торгового комплекса, которая подлежит освещению, га.

$$P_{р.вн.} = 0,6 \cdot 42 = 25,2 \quad .$$

Суммарная расчетная активная нагрузка внешнего и внутреннего освещения торгового комплекса [4]

$$P_{р.о.тк} = P_{р.у.о.} + P_{р.вн.} \quad (4.6)$$

$$P_{р.о.тк} = 63,7 + 25,2 = 88,9 \quad .$$

Расчётная реактивная нагрузка освещения торгового комплекса

$$Q_{р.о.тк} = P_{р.у.о.} \cdot \operatorname{tg} \phi_{у.о.} + P_{р.вн.} \cdot \operatorname{tg} \phi_{вн.кв.} \quad (4.7)$$

где  $\operatorname{tg} \phi_{у.о.}$  и  $\operatorname{tg} \phi_{вн.кв.}$  – коэффициенты мощности наружного (уличного) и внутреннего освещения.

$$Q_{р.о.тк} = 63,7 \cdot 0,328 + 25,2 \cdot 0,328 = 29,2 \quad .$$

Полная расчетная нагрузка наружного освещения торгового комплекса:

$$S_{р.о.тк} = \sqrt{P_{р.о.тк}^2 + Q_{р.о.тк}^2} \quad (4.8)$$

$$S_{р.о.тк} = \sqrt{88,9^2 + 29,2^2} = 93,6 \quad .$$



### 4.3 Определение суммарной расчетной нагрузки торгового комплекса

Расчет электрической нагрузки торгового комплекса выполняется путем суммирования расчетных нагрузок отдельных групп однородных потребителей с учетом коэффициента участия в максимуме наибольшей из нагрузок согласно [4]:

$$P_{тк} = P_{p.max} + \sum_{i=1}^{n_p} K_{y.i} P_{p.i}, \text{ кВт}, \quad (4.9)$$

$$Q_{тк} = P_{p.max} \cos \varphi + \sum_{i=1}^{n_p} K_{y.i} P_{кв.i} \cos \varphi_{кв.i} + k_{с.л} \sum_{l.i} P_{л.i} \cos \varphi_{л.i}), \text{ квар}, \quad (4.10)$$

где  $P_{p.max}$  - наибольшая из электрических нагрузок групп однородных потребителей, кВт;

$P_{p.i}$  - расчетные нагрузки остальных групп потребителей, кВт;

$K_{y.i}$  – коэффициенты несовпадения максимумов электрических нагрузок, определяются по таблице 6.13 [4].

Расчетная нагрузка торгового комплекса определяется с учетом нагрузки освещения.

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

Суммарная расчетная нагрузка торгового комплекса с учётом освещения определяется по формуле [4]:

$$P_{р.тк} = P_{p.max} k_{т} + \sum_{y.i} K_{y.i} P_{p.i} + P_{y.осв.} (P_{p.y.o.} + P_{p.вн.}), \quad (4.11)$$

где  $P_{p.max}$  – наибольшая из расчетных нагрузок, кВт;

$P_{p.i}$  – расчетная нагрузка i-го объекта, кВт;

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

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

Реактивная составляющая расчетной нагрузки торгового комплекса с учётом освещения определяется по формуле:

$$Q_{p.тк} = \sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot \tan \varphi_i + P_{y.осв.общ} \cdot \tan \varphi_{осв} \quad (4.12)$$

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

Полная расчетная нагрузка торгового комплекса с учётом освещения определяется:

$$S_{p.тк} = \sqrt{P_{p.тк}^2 + Q_{p.тк}^2} \quad (4.13)$$

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

## 5 Выбор количества и мощности силовых трансформаторов

### 5.1 Выбор и проверка силовых трансформаторов

От правильного выбора числа и мощности трансформаторов трансформаторной подстанции (ТП), а также её размещения, зависит эффективность функционирования системы в целом [5].

Выбор числа трансформаторов зависит от категории надежности и выбранной схемы электроснабжения подключенных потребителей.

В частности, согласно [1], для питания потребителей I категории и ответственных потребителей II категории применяются двухтрансформаторные подстанции в сочетании с двухлучевыми схемами питания. Каждый трансформатор при этом питается от отдельной линии, подключенной к независимому источнику питания.

В случае выхода из строя одного из трансформаторов другой, в соответствии с допустимой согласно [1] аварийной перегрузкой, обеспечивает питание всех потребителей, подключенных к ТП.

Перевод нагрузки с отказавшего или выведенного в ремонт трансформатора на трансформатор, оставшийся в работе, должен осуществляться автоматически [1].

Номинальную мощность трансформаторов цеховой подстанции выбирают по эмпирической формуле [5,6]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{S_{p.тк}}{N\beta_m}, \text{ кВА}, \quad (5.1)$$

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

$S_{p.тк}$  - расчетная активная нагрузка торгового комплекса, кВА;

$N$  - число трансформаторов ТП, шт;

$\beta_m$  - коэффициент загрузки трансформатора цеховой ТП [5].

Номинальная мощность трансформаторов ТП-10/0,4 кВ торгового комплекса по (5.1)

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

Согласно расчету, для установки на ТП-10/0,4 кВ выбирается два трансформатора типа ТМ-630/10 [5].

Осуществляется проверка выбранных трансформаторов по работе в нормальном и послеаварийном режимах сети.

Для этого, согласно [3], действительные значения коэффициентов загрузки сравниваются с допустимыми значениями.

Действительные значения коэффициентов загрузки в нормальном и послеаварийном режимах определяются [3]:

$$K_3^n = \frac{S_{p.тк}}{S_{\text{ном.тр}} \cdot N}, \quad K_3^{п.ав.} = \frac{S_{p.тк}}{S_{\text{ном.тр}} \cdot (N-1)}, \quad (5.2)$$

где  $S_{p.тк}$  – расчетная полная нагрузка торгового комплекса, кВА.

Полученные по формулам (15) коэффициенты не должны превышать значений [7]:

$$0,6 \leq K_3^H \leq 0,9; K_3^{n.ab.} \leq 1,5. \quad (5.3)$$

Коэффициенты загрузки в нормальном и послеаварийном режимах [7]:

$$K_3^H = \frac{942,3}{630} = 0,748; K_3^{n.ab.} = \frac{942,3}{630(2-1)} = 1,496.$$

Условия (5.3) выполняется

$$0,6 < 0,626 < 0,9;$$

$$1,496 < 1,5.$$

Окончательно применяется для установки на ТП-10/0,4 кВ, питающей проектируемый торговый комплекс, два силовых трансформатора ТМ-630/10.

## 5.2 Конструктивное выполнение трансформаторной подстанции

Конструктивно ТП-10/0,4 кВ выполнена в виде одноэтажного сооружения с кабельными вводами и состоит из двух силовых трансформаторов типа ТМ-630/10, распределительных устройств 10 кВ и 0,4 кВ, устройств управления, релейной защиты и автоматики [7,8].

Трансформаторные подстанции, согласно [3], должны проектироваться с учетом эксплуатации их без постоянного дежурства персонала с применением устройств автоматики, а в случае необходимости – простейших устройств телемеханики. Для поддержания требуемого уровня надежности и безотказности работы, подстанции рекомендуется выполнять по простейшим схемам, учитывая, однако, при проектировании необходимые требования к надёжности, электробезопасности и необходимому уровню резервирования.

Конструктивно ТП-6/0,4 кВ сооружается закрытой. Закрытые трансформаторные подстанции используются, главным образом, в городах и

на крупных предприятиях [7,8]. В работе закрытая подстанция питается кабельной линией напряжением 10 кВ от энергосистемы.

Через проходной изолятор, выключатель нагрузки и предохранитель, высокое напряжение 10 кВ подается к трансформатору. В одном из проемов стены ЗТП размещён щит низкого напряжения 0,38/0,22 кВ. Проводка высокого напряжения выполнена стальными шинами на опорных изоляторах, между предохранителями различных фаз является перегородки из изоляционного материала.

Выводы низкого напряжения выполнены изолированными проводниками в стальных трубах. В сети низкого напряжения установлены трансформаторы тока. Секционный разъединитель, установленный в ремонтной шинной перемычке, обеспечивает резервирование двухтрансформаторной подстанции на стороне 10 кВ в случае аварийной ситуации или ремонтных работах на одном из фидеров [6,7].

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 торгового комплекса.

ТП строится из железобетона и располагается в подвале торгового комплекса, что разрешено положениями [1], т.к. все вводы ВН и НН проектируемой ТП – кабельные. Для вентиляции помещения ТП предусмотрены жалюзи, расположенные в верхней части.

В качестве камеры ввода на ТП-10/0,4 кВ на стороне ВН используется камера типа КСО-366. Камеры КСО-366 предназначены для комплектования РП напряжением 6 (10) кВ по схемам, в которых вместо выключателей используют выключатели нагрузки. Камеры КСО – 366 состоят из сварного корпуса и передних дверей. Размеры камеры в основе 1000 x1000 мм, высота 2080 мм [8]. На фасаде камер закреплены две дверцы - верхние и нижние, а в средней части приварен стальной пояс, на котором монтируют привод

выключателей нагрузки.

Аппаратура измерения, защиты и управления размещается в верхнем отсеке камеры. На лицевой стороне камеры размещена панель для установки приборов защиты и измерения. Сетчатое ограждение установлено для внутреннего осмотра камеры без снятия напряжения. В верхней части камеры расположен световой карниз, который служит одновременно световым табло, внутренним освещением и коробкой для контрольных кабелей. В середине камеры монтируют аппаратуру, на верхней раме - опорные изоляторы главных шин.

Безопасность обслуживания и последовательность операций обеспечиваются наличием в камерах механической блокировки, которое не позволяет открывать двери при включенном выключателе нагрузки [9].

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

## **6 Выбор мощности компенсирующих устройств**

Мощность конденсаторных устройств напряжением 0,4 кВ определяется при расчетах систем внутриводского электроснабжения [1].

Максимальная реактивная мощность, которую целесообразно передавать через трансформатор 10/0,4 кВ в сеть напряжением до 1 кВ для обеспечения желаемого коэффициента его загрузки  $\beta_m$  [5,6]

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - P_{\text{р.тк}}^2}, \text{ квар}, \quad (6.1)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  - полная номинальная мощность трансформатора торгового комплекса, кВА.

Если под корнем величина со знаком минус, то принимают  $Q_T = 0$ .

Мощность конденсаторных установок с конденсаторами с номинальным напряжением 0,4 кВ определяется [5,6]

$$Q_{\text{н.к}} = Q_{\text{р.тк}} - Q_T, \text{ квар}, \quad (6.2)$$

где  $Q_{p.тк}$  - расчетная реактивная нагрузка торгового комплекса, квар.

Если  $Q_{н.к} < 0$ , то устанавливать конденсаторы с номинальным напряжением 0,4 кВ не нужно.

Для проектируемого торгового комплекса определяется мощность компенсирующих устройств по (6.1) и (6.2)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 254,8 - 30)^2 - 907,1^2} = 439,6 \text{ квар};$$
$$Q_{н.к} = 254,8 - 439,6 = -184,8 \text{ квар}.$$

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

## 7 Выбор и проверка сечения проводников

### 7.1 Выбор сечения кабельной линии 10 кВ

Выбор и проверка сечения кабельной линии, питающей ТП-10/0,4 кВ, проводится в два этапа [1,3].

1) Выбор сечений в нормальном режиме работы.

Сечение кабелей напряжением свыше 1 кВ выбирается по экономической плотности тока. Сечение кабеля определяется по формуле

$$S_{ек} = \frac{I_n}{j_e}, \text{ мм}^2, \quad (7.1)$$

где  $I_n$  - ток нормального режима, А;

$j_e$  - нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup> (согласно [1], для алюминиевых жил кабеля с бумажной изоляцией при значении  $T_{макс}$  от 3000 ч до 5000 ч принимается  $j_e = 1,6$  А/мм<sup>2</sup>).

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

Определяются номинальный ток трансформаторов ТП [3 – 5].

$$I_{\text{НОМ.Т}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т.}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}, \text{ А}, \quad (7.2)$$

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

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

$$I_{\text{НОМ.Т}} = I_{\text{н.}} = \frac{630}{\sqrt{3}} = 36,4 \text{ А.}$$

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 кабеля проверяется на нагрев током максимального режима

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} I_{\text{н}}, \text{ А}, \quad (7.3)$$

где  $K_{\text{пер}}$  - коэффициент перегрузки кабелей. Принимается равным 1;

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

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{ср}} I_{\text{ср пр доп}}, \text{ А}, \quad (7.4)$$

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];

$I_{\text{доп}}$  - 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]

$$K_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{ср}}}{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{ср.н}}}}, \quad (7.5)$$



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

$T_{ср}$  - фактическая температура среды.

Для кабелей марки АСБ напряжением 10 кВ продолжительная допустимая температура  $T_{ж.н} = 60$  °С. Для кабелей, проложенных в земле, нормированная температура среды значение  $T_{ср.н}=15$  °С. Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды  $K_{ср} = 1$  [1].

Выбранные кабели проверяются по условию (7.3):

$$1 \cdot 9,9 \cdot 0,95 = 94,5 > 1,4 \cdot 8,5 = 53,9 \text{ А}$$

Условия выполняются, выбранные кабели АСБ-10(3х25) могут работать в максимальном режиме нагрузки без перегрева изоляции.

## 7.2 Выбор кабельных линий напряжением до 1 кВ

Расчет сетей низкого напряжения заключается в определении тока, протекающего по кабелю в нормальном и послеаварийном режиме. Сечения кабелей должны выбираться по длительно допустимому току в нормальном и послеаварийном режимах и проверяться по допустимым отклонениям напряжения [1]. При этом необходимо учитывать:

- поправочные коэффициенты на число работающих кабелей;
- фактическую температуру окружающей среды;
- тепловое сопротивление грунта и допустимую перегрузку в послеаварийном режиме.

Поправочный коэффициент ( $K_I^n$ ), учитывающий количество работающих кабелей в нормальном режиме работы, принимается по табл.1.3.26. [1]:  $K_I^n=0,8$  (два кабеля). Коэффициент ( $K_I^{n.ав}$ ), учитывающий количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле в послеаварийном режиме работы (обрыв одного кабеля рассматриваемой линии), принимается по табл.1.3.26. [1]  $K_I^{n.ав}=1$  (т.к. в работе остаётся один кабель). Поправочный коэффициент ( $K_2$ ) для приведенного теплового сопротивления по табл.1.3.23.

[1] равен  $K_2=1,0$ . Поправочный температурный коэффициент (для нормальной температуры  $t=15^\circ\text{C}$ ) равен  $K_3=1,08$ . Коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме ( $K_4$ ) определяется по табл.1.3.2. [1],  $K_4=1,06$ .

Согласно [1], при выборе поправочных коэффициентов вычисляется значение суммарного коэффициента:

для нормального режима:

$$K_{\text{общ.}}^n = K_{1.n} \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (7.6)$$

$$K_{\text{общ.}}^n = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,08 = 0,87;$$

для послеаварийного режима:

$$K_{\text{общ.}}^{n.av} = K_{1.n.av} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (7.7)$$

$$K_{\text{общ.}}^{n.av} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,08 \cdot 1,06 = 1,15$$

Поправочные коэффициенты, рассчитанные по выражениям (7.6) и (7.7), принимаются для всех объектов торгового комплекса, т.к. все они относятся ко II категории надёжности. Поэтому данные кабельные линии выполняются с использованием двух кабелей, присоединенных к разным сборным шинам 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ согласно [1].

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

Значение расчетного тока в нормальном режиме определяется:

$$I_p^n = \frac{S_p^n}{\sqrt{3}U_n}, \quad (7.8)$$

где  $S_p^n$  - полная расчетная мощность на участке сети в нормальном режиме, кВА;

$U_n$  - номинальное напряжение сети,  $U_n=0,38$  кВ.

Так как питание данного потребителя торгового комплекса производится по двум кабелям, то расчетная мощность на участке сети в нормальном режиме определяется следующим образом:

$$S_p^n = \frac{S_{p,1}^n}{2}, \quad (7.9)$$

где  $S_{p,1}$  – полная расчетная мощность потребителя №1.

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

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

В послеаварийном режиме (один кабель вышел из строя) расчетный ток определяется по формуле:

$$I_p^{n,ав} = \frac{0,9 \cdot S_p^{n,ав}}{\sqrt{3} U_n} \quad (7.10)$$

где 0,9 – поправочный коэффициент, п.2.3.3. [1];

$S_p^{n,ав}$  – полная расчетная мощность на участке сети в послеаварийном режиме,  $S_p^{n,ав} = S_p$ .

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

Аналогичные расчеты проводятся для остальных линий, питающих потребители торгового комплекса и результаты приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Определение расчетных токов питающих линий

Участок (ТП – № потребит.)	Число кабелей в линии $n$	Полная расчетная нагрузка в норм. режиме: $S_p^n$	Полная расчетная нагрузка в ПАВ режиме: $S_p^{n,ав}$	Расчетный ток в норм. режиме: $I_p^n$	Расчетный ток в ПАВ режиме: $I_p^{n,ав}$
	шт	кВА	кВА	А	А
ТП – П №1	2	88,4	176,7	134,3	241,6
ТП – П №2	2	145,4	290,7	220,9	397,5
ТП – П №3	2	81,8	163,5	124,3	223,6
ТП – П №4	2	63,7	127,4	96,8	174,3
ТП – П №5	2	220,6	441,2	335,2	603,5
ТП – П №6	2	144,0	287,9	218,8	393,8
ТП – П №7	2	67,7	135,3	102,9	185,1
ТП – П №8	2	23,5	46,9	35,7	64,1

Принимается для прокладки на территории торгового центра кабель с алюминиевыми жилами марки АВВГ. Сечение данной марки кабеля выбирается по табл.1.3.16. [1].

Для линии ТП – П №1, по значению  $I_p^n = 134,3$  А по табл.1.3.16 [1] для принятой марки кабеля и способа его прокладки выбирается сечение

$$I_{доп} \geq I_p^n \text{ А.} \quad (7.11)$$

где  $I_{доп}$  - длительно допустимый ток кабеля, табл.1.3.16 [1].

Принимается  $I_{доп} = 153$  А и соответствующее ему сечение  $F=50$  мм<sup>2</sup>

$$150 \text{ А} > 134,3 \text{ А.}$$

Определяется фактический допустимый ток и сравнивается с током нормального режима:

$$I'_{доп} \geq K^n_{общ} I_{доп} \text{ А.} \quad (7.12)$$

$$I'_{доп} \geq I_p^n \text{ А,} \quad (7.13)$$

где  $K^n_{общ}$  – суммарный поправочный коэффициент для нормального режима работы сети,  $K^n_{общ} = 0,97$ .

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

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

Условие выполняется, проводится проверка в послеаварийном режиме

$$I'_{доп} \geq I_{доп}^{n.ав} \text{ А.} \quad (7.14)$$

$$I'_{доп} \geq I_p^{n.ав} \text{ А,} \quad (7.15)$$

где  $K^{n.ав}_{общ}$  - суммарный поправочный коэффициент в послеаварийном режиме работы сети  $K^{n.ав}_{общ} = 1,15$ ;

$I_p^{n.ав}$  - расчетный ток линии в послеаварийном режиме,  $I_p^{n.ав} = 241,6$  А.

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

$$176 \text{ А} < 241,6 \text{ А.}$$

Условие (7.15) не выполняется, поэтому увеличивается сечение кабеля:  
 $F=95$  мм<sup>2</sup>,  $I_{доп} = 219$  А.

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

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

Условия (7.14) и (7.15) выполняются, следовательно, окончательно принимается сечение жилы силового кабеля  $F=95 \text{ мм}^2$ .

Аналогичные расчеты проведены для других участков линий питающей сети 0,38/0,22 кВ и результаты представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 - Определение сечения жил кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ

Участок	Расчетный ток участка		Длит. доп. ток: $I_{доп}$	Сечение жил: $F$	Суммарный коэф-т в норм. режиме $K^{н.общ.}$	$I'_{\partial} = I_{\partial,м} \cdot K^{н.общ.}$	$I'_{\partial} \geq I_p^n$	Суммарный коэф-т в ПАВ режиме $K^{н.ав.общ.}$	$I_{\partial.н.ав} = I_{\partial,м} \cdot K^{н.ав.общ.}$	$I_{\partial.н.ав} \geq I_p^{н.ав}$
	$I_p^n$	$I_p^{н.ав}$								
-	А	А	А	мм <sup>2</sup>	-	А	да/нет	-	А	да/нет
ТП – П №1	134,3	241,6	219	95	0,87	188,3	да	1,15	251,9	да
ТП – П №2	220,9	397,5	359	240	0,87	308,7	да	1,15	412,9	да
ТП – П №3	124,3	223,6	219	95	0,87	188,3	да	1,15	251,9	да
ТП – П №4	96,8	174,3	153	50	0,87	131,6	да	1,15	175,9	да
ТП – П №5	335,2	603,5	2x314	2x185	0,87	540,1	да	1,15	722,2	да
ТП – П №6	218,8	393,8	359	240	0,87	308,7	да	1,15	412,9	да
ТП – П №7	102,9	185,1	184	70	0,87	158,2	да	1,15	211,6	да
ТП – П №8	35,7	64,1	60	10	0,87	51,6	да	1,15	69,0	да

### 7.3 Проверка кабельных линий до 1 кВ по потерям напряжения

Максимально допустимые потери напряжения для выбранных кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ составляют [1]:

- в нормальном режиме  $\Delta U_{\text{дон.}}^{\text{н}} = 5\%$ ;
- в послеаварийном режиме допускается потеря дополнительно 5% напряжения, т.е.  $\Delta U_{\text{дон.}}^{\text{п.ав}} = 10\%$ .

Потери напряжения в кабельной линии в нормальном режиме работы определяются по формуле:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} I_p^{\text{н}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100\%, \quad (7.16)$$

где  $I_p^{\text{н}}$  – расчетный ток в нормальном режиме работы;

$\cos \varphi$  – расчетный коэффициент, определяемый по табл.2.2.1 [1]: для общественных зданий  $\cos \varphi = 0,95$ ;

$U_n$  – номинальное напряжение сети,  $U_n = 380$  В;

$r_0$  и  $x_0$  – удельные сопротивления кабеля, которые зависят от сечения жилы [1];

$L$  – длина кабельной линии, км.

Потери напряжения в нормальном режиме по формуле (7.16) на примере линии ТП – П №1 (линия от ТП-10/0,4 кВ к потребителю №1 – станции технического обслуживания и ремонта автомобилей)

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 34,3 \cdot 0,06 \cdot 0,34 \cos 0,95 + 0,06 \sin 0,31}{380} \cdot 100\% = 2,38\%.$$

Полученные значение потерь напряжения проверяются по значению максимально допустимых потерь напряжения в нормальном режиме работы согласно [1]:

$$\Delta U_n \leq \Delta U_{\text{дон.}}^{\text{н}} \quad (7.17)$$

2,38% < 5%.

Таким образом, предварительно принятое сечение кабеля в нормальном режиме работы удовлетворяет требованиям качества электрической энергии.

Далее проводится проверка предварительно выбранного сечения по потере напряжения в послеаварийном режиме работы.

Потери напряжения в кабельной линии в послеаварийном режиме работы определяются по формуле:

$$\Delta U_{нав} = \frac{\sqrt{3} I_p^{нав} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100\%, \quad \% \quad (7.18)$$

где  $I_p^{нав}$  – расчетный ток в послеаварийном режиме работы.

По формуле (7.16) на примере линии ТП – П №1:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 41,6 \cdot 0,06 \cdot 0,34 \cdot \cos 0,95 + 0,06 \cdot \sin 0,31}{380} \cdot 100\% = 5,49\%.$$

Проверка полученных результатов потерь по максимально допустимой потере напряжения в послеаварийном режиме работы [1]:

$$\Delta U_{нав} \leq \Delta U_{дон}^{нав}. \quad (7.19)$$

Для линии ТП – П №1 условие (7.19) выполняется:

$$5,19\% \leq 10\%.$$

Таким образом, полученные значения потерь напряжения в нормальном и послеаварийном режимах работы меньше допустимых значений, следовательно, сечение кабеля выбрано верно.

В случае, если условие (7.17) или (7.19) не выполняются, необходимо увеличить сечение токопроводящей жилы кабеля и осуществить проверку повторно.

Аналогичные расчеты проводятся для всех кабелей питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ, результаты приводятся в таблице 7.3.



Таблица 7.3 – Расчет потерь напряжения питающей сети 0,38/0,22 кВ

Участок линии	Сече- ние $F$	Расчетные коэффици- енты		Длина : $L$	Удельное сопротивлени е линии		Потери напряжения в норм. режиме $\Delta U_{уч}^n$	$\Delta U_{дон}^n \leq 5\%$	Потери напряжения в ПАВ режиме $\Delta U_{уч}^{n.ав}$	$\Delta U_{дон}^{n.ав} \leq 10\%$
		$\cos\varphi$	$\sin\varphi$		$r_0$	$x_0$				
-	мм <sup>2</sup>	-	-	м	мОм/м		%	да/нет	%	да/нет
ТП – П №1	95	0,95	0,31	60	0,34	0,06	2,47	да	4,88	да
ТП – П №2	240	0,95	0,31	80	0,14	0,06	2,24	да	4,23	да
ТП – П №3	95	0,95	0,31	140	0,34	0,06	2,86	да	5,47	да
ТП – П №4	50	0,95	0,31	160	0,64	0,06	3,16	да	6,02	да
ТП – П №5	2x18 5	0,95	0,31	180	0,17	0,06	1,98	да	3,83	да
ТП – П №6	240	0,95	0,31	200	0,14	0,06	1,45	да	2,82	да
ТП – П №7	70	0,95	0,31	210	0,46	0,06	4,08	да	7,94	да
ТП – П №8	10	0,95	0,31	240	2,15	0,06	4,23	да	7,16	да

## 8 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт проведен согласно методике [7]. Расчётная схема и схема замещения для расчета токов КЗ представлены на рис. 8.1.

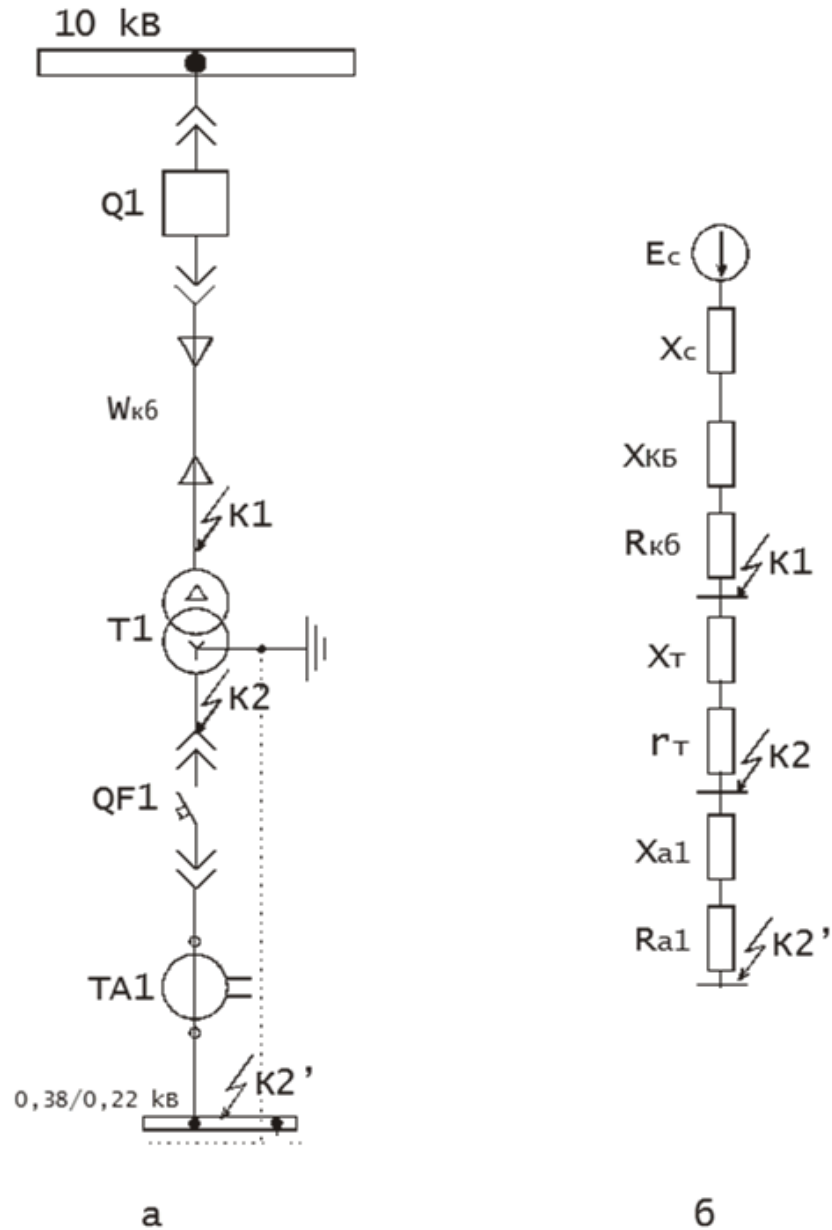


Рисунок 8.1 - Схема для расчета токов КЗ: а - расчетная схема; б - схема замещения

Определяется базисная мощность

$$S_б = S_{ном.т} = 630 \text{ кВА.}$$

Определяются базисные напряжения

$$\begin{aligned}
 U_{61} &= 1,05 \cdot U_{\text{ном.ВН}}, \text{ кВ}; \\
 U_{61} &= 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}; \\
 U_{62} &= 0,4 \text{ кВ}.
 \end{aligned}
 \tag{8.1}$$

Базисный ток определяется по формуле

$$\begin{aligned}
 I_6 &= \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{61}}, \text{ А}; \\
 I_6 &= \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,7 \text{ А}.
 \end{aligned}
 \tag{8.2}$$

Определение параметров схемы замещения

1) Определяется сопротивление системы

$$\begin{aligned}
 x_{c*} &= \frac{I_6}{I_{\text{п.о}}^{(3)}}, \text{ о. е.}; \\
 x_{c*} &= \frac{34,7}{6000} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ о. е.}
 \end{aligned}
 \tag{8.3}$$

2) Определяется сопротивление кабельной линии

$$x_{\text{кб1}} = x_{0 \text{ каб1}} l_{\text{кб1}} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о. е.};
 \tag{8.4}$$

$$r_{\text{кб1}} = r_{0 \text{ каб1}} l_{\text{кб1}} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о. е.},
 \tag{8.5}$$

где  $x_{0 \text{ каб1}}$  и  $r_{0 \text{ каб1}}$  - соответственно реактивное и активное удельное сопротивление кабеля, Ом/км.

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

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

3) Определяется сопротивление трансформатора

$$r_m = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{ном.м}}}, \text{ о.е.};
 \tag{8.6}$$

$$x_m = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - r_m^2}, \text{ о.е.},
 \tag{8.7}$$

где  $\Delta P_{\text{кз}}$  - потери КЗ трансформатора, кВт;

$u_k$  - напряжение КЗ трансформатора, %.

$$r_{\dot{i}}^m = \frac{7,6}{630} = 0,0121 \quad \text{о.е.};$$

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

4) Определяется суммарное сопротивление в относительных единицах к точке К1

$$x_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1} = x_{\dot{i}^*}^C + x_{\dot{i}^*}^{K61}, \quad \text{о.е.}; \quad (8.8)$$

$$x_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1} = 0,0058 + 0,000024 = 0,00582 \quad \text{о.е.}$$

$$z_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1} = \sqrt{x_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1 2} + r_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1 2}}, \quad \text{о.е.}; \quad (8.9)$$

$$z_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1} = \sqrt{0,00582^2 + 0,00018^2} = 0,00582 \quad \text{о.е.}$$

5) Определяется суммарное сопротивление в относительных единицах к точке К2

$$x_{\dot{i}^*}^{\Sigma K2} = x_{\dot{i}^*}^{\Sigma K1} + x_{\dot{i}^*}^T, \quad \text{о.е.}; \quad (8.10)$$

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

$$r_{\dot{i}^*}^{\Sigma K2} = r_{\dot{i}^*}^{K61} + r_{\dot{i}^*}^T, \quad \text{о.е.}; \quad (8.11)$$

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

6) Определяется суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2

$$x_{\Sigma K2} = x_{\dot{i}^*}^{\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \quad \text{Ом}; \quad (8.12)$$

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

$$r_{\Sigma K2} = r_{\Sigma K2}^* \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом.}; \quad (8.13)$$

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

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом.}; \quad (8.14)$$

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

7) Согласно [1], принимаются следующие значения сопротивлений автоматов:  $r_{a1} = 0,00014 \text{ Ом}$ ;  $x_{a1} = 0,00008 \text{ Ом}$ .

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

$$r_{\Sigma K2'} = R_{\Sigma K2} + r_{a1}, \text{ Ом}; \quad (8.15)$$

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

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{r_{\Sigma K2'}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad (8.16)$$

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

Определяется ток трехфазного КЗ в точке К1

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{I_6}{z_{\Sigma K1}^*}, \text{ А}; \quad (8.17)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{34,7}{0,0087} = 3988 \text{ А.}$$

Определение тока трехфазного КЗ в точках К2, К2 "

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} z_{\Sigma K.i}^*}, \text{ кА}; \quad (8.18)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0156} = 14,8 \text{ кА};$$

$$I_{K2'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01563} = 14,79 \text{ кА};$$

Ударный ток определяется по формуле

$$i_{y.K.i} K.I = \sqrt{2} \cdot y_{K.i}^{(3)}, \text{ кА}; \quad (8.19)$$

где  $K_y$  - ударный коэффициент.

$$i_{y.k1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,988 = 10,2 \text{ кА};$$

$$i_{y.k2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,8 = 29,3 \text{ кА};$$

$$i_{y.k2''} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,79 = 29,25 \text{ кА}.$$

## 9 Выбор и проверка электрических аппаратов

### 9.1 Выбор электрических аппаратов напряжением до 1 кВ

Для защиты и коммутации сетей напряжением 0,38/0,22 кВ в городских электрических сетях широко применяются плавкие предохранители и автоматические выключатели.

Предохранители и автоматические выключатели выполняют функции защиты сети от теплового и динамического действия тока, которое возникает при его увеличении выше допустимого значения, например, при перегрузке и коротком замыкании [8].

В работе для защиты сети 0,38/0,22 кВ торгового комплекса, 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 торгового комплекса.

Общие условия выбора автоматических выключателей [7,8]:

1) по номинальному напряжению

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}, \text{ В}, \quad (9.1)$$

где  $U_{\text{ном.а}}$  – номинальное напряжение автомата, В;

$U_{\text{ном.с}}$  – номинальное напряжение сети, В.

2) по номинальному току автомата

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ф}}, \text{ А}, \quad (9.2)$$

где  $I_{\text{ф}}$  – ток форсированного режима (максимальный рабочий ток);

3) по номинальному току расцепителя

$$I_{\text{ном.р}} \leq I_{\phi}, \text{ А.} \quad (9.3)$$

4) по номинальному току автомата и его расцепителя

$$I_{\text{ном.а}} \leq I_{\text{ном.р}}, \text{ А.} \quad (9.4)$$

5) по номинальному току теплового расцепителя

$$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \cdot 1,1 \leq I_{\text{р}}, \text{ А,} \quad (9.5)$$

где  $I_{\text{р}}$  - расчетный ток ПАВ режима, А;

6) по отключающей способности

$$I_{\text{ном.вим.а}} \leq I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}', \text{ А,} \quad (9.6)$$

где  $I_{\text{к}}'$  - максимальный ток короткого замыкания, А.

Выбор и проверка автомата ввода осуществляется по вышеприведенным условиям. Данные расчетов и каталога [4] приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Выбор автомата ввода ТП-10/0,4 кВ

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные автомата ВА 55-43
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.а}} \leq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.м}} = 380 \text{ В}$	$U_{\text{ном.а}} = 380 \text{ В}$
По номинальному току автомата $I_{\text{ном.а}} \leq I_{\phi}$	$I_{\text{к}}' \cdot I_{\text{рез ном.т}} = 1,0 \cdot 958,3 = 958,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном.а}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току расцепителя $I_{\text{ном.р}} \leq I_{\phi}$	$I_{\text{к}}' \cdot I_{\text{рез ном.т}} = 1,0 \cdot 958,3 = 958,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току автомата и его расцепителя $I_{\text{ном.а}} \leq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току теплового расцепителя $I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \cdot 1,1 \leq I_{\phi}$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 1341,6 = 1475,8 \text{ А}$	$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} = 1,25 \cdot I_{\text{ном.р}} = 1,25 \cdot 1600 = 2000 \text{ А}$
По условию отстройки от пусковых токов	$6 \cdot I_{\text{ном.т}} = 6 \cdot 958,3 = 5749,8 \text{ А}$	$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.н.р}} = 4 \cdot I_{\text{ном.р}} = 4 \cdot 1600 = 6400 \text{ А}$

$I_{с.в} = I_{у.н.р} (6-10) I_{ном.т}$		
По отключающей способности $I_{ном.в.а} = I_{п.о} = I_{к}$	$I_{п.о} = I_{к2} = 14,8 \text{ кА}$	$I_{ном.в.а} = 45 \text{ кА}$

Выбор линейных автоматов.

Выбирается линейный автомат к потребителю №1 (станция технического обслуживания и ремонта автомобилей). Выбор и проверка параметров автомата осуществляется по вышеприведенным условиям. Расчётный ток  $I_p$  для выбора автоматов принимается равным току послеаварийного режима. Данные расчетов и каталога [4] приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 - Выбор автомата к потребителю №1

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные автомата ВА52-35
По номинальному напряжению $U_{ном.а} = U_{ном.м}$	$U_{ном.м} = 380 \text{ В}$	$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$
По номинальному току автомата $I_{ном.а} = I_p$	$I_p = 241,6 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 250 \text{ А}$
По номинальному току расцепителя $I_{ном.р} = I_p$	$I_p = 241,6 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 250 \text{ А}$
По номинальному току автомата и его расцепителя $I_{ном.а} = I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 250 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 250 \text{ А}$
По номинальному току теплового расцепителя $I_{с.п} = I_{у.т.р} = 1,1 I_p$	$1,1 I_p = 1,1 \cdot 241,6 = 265,8 \text{ А}$	$I_{с.п} = I_{у.т.р} = K I_{ном.р} = 1,25 \cdot 250 = 312,5 \text{ А}$ Принимается $I_{у.т.р} = 400 \text{ А}$



По отключающей способности $I_{\text{НОМ.В.а}} \diamond I_{\text{П.О}} = I_{\text{К}}$	$I_{\text{П.О}} = I_{\text{К2}'} = 14,8 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.В.а}} = 32 \text{ кА}$
---	---	--------------------------------------

Условия выполняются.

Окончательно выбирается автомат ВА52-35 для защиты и коммутации линии, питающей потребитель №1 торгового комплекса.

Аналогичные расчеты проводятся для других линейных автоматов и результаты расчетов приведены в таблице 9.3.

Таблица 9.3 - Выбор линейных автоматических выключателей

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
ТП – П №1	ВА 52-35	660	241,6	250	250	400	2400	32
ТП – П №2	ВА 52-34	660	397,5	400	400	630	2400	32
ТП – П №3	ВА 52-35	660	223,6	250	250	250	2400	32
ТП – П №4	ВА 52-35	660	174,3	250	200	250	1800	32
ТП – П №5	ВА 52-39	660	603,5	630	630	800	1800	55
ТП – П №6	ВА 52-34	660	393,8	400	400	630	3600	32
ТП – П №7	ВА 52-35	660	185,1	250	200	250	3000	32
ТП – П №8	ВА 52-35	660	64,1	100	80	120	3000	32

Выбор предохранителей. Плавкие предохранители типа ПН – 2 устанавливаются во ВРУ потребителей.

Выбор тока плавкой вставки предохранителя по нормальному режиму работы:

$$I_e \geq I_{\text{р.н}} , \quad (9.7)$$

где  $I_{\text{р.н}}$  – расчетный ток нормального режима.

Выбор номинального тока плавкой вставки предохранителя проверяется в послеаварийном режиме по выражению:

$$I_e \geq I_{\text{р}}^{\text{нас}} / k, \quad (9.8)$$

где  $k = 1,4$  – коэффициент, учитывающий, что плавкая вставка не перегорит при токе равном  $1,4I_{\epsilon}$  в течение 3-х часов; это условие допустимо, т.к. расчетное время максимума нагрузки составляет 30 минут.

Проверка по отключающей способности

$$I_{np.откл} \geq I_{к2}'' \quad (9.9)$$

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

Выбор предохранителя на примере П №1 по условиям (9.7) – (9.9).

Условие (9.7)

$$200 \text{ А} > 134,3 \text{ А.}$$

Условие (9.8)

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

Условие (9.9)

$$40 \text{ кА} > 14,79 \text{ кА.}$$

Условия выполняются.

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

Аналогичные расчеты проводятся для остальных потребителей торгового комплекса и результаты расчетов приведены в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Выбор предохранителей

Потребитель	Расчетный ток в норм. режиме: $I_p^H$	Расчетный ток в ПАВ режиме: $I_p^{нав}$	Ном. ток плавкой вставки $I_{\epsilon}$	Ном ток предохранителя: $I_{np}$	Предельный откл. ток $I_{np.отк}$	$I_p^{нав} / 1,4$
---	А	А	А	А	кА	А
П №1	134,3	241,6	200	250	40	172,6
П №2	220,9	397,5	315	400	25	283,9
П №3	124,3	223,6	160	250	40	159,7
П №4	96,8	174,3	125	250	40	124,5
П №5	335,2	603,5	500	630	25	431,1
П №6	218,8	393,8	315	400	25	281,3
П №7	102,9	185,1	160	250	40	132,2

П №8	35,7	64,1	50	100	50	45,8
------	------	------	----	-----	----	------

## 9.2 Выбор электрических аппаратов напряжением 10 кВ

Условия выбора электрических аппаратов приводятся ниже [7,8].

Электрические аппараты (ЭА) напряжением выше 1 кВ выбираются по следующим условиям:

1) прочности изоляции для работы аппаратуры в длительном режиме и при кратковременных перенапряжениях

$$U_{\text{ном.ЭА}} \geq U_{\text{ном.с}}, \text{кВ}, \quad (9.10)$$

где  $U_{\text{ном.ЭА}}$  - номинальное напряжение аппарата;

$U_{\text{ном.с}}$  - номинальное напряжение сети, в которой применяется ЭА;

2) допустимого нагрева токами в длительном режиме

$$I_{\text{ном.ЭА}} \geq I_{\text{ф}}, \text{А}, \quad (9.11)$$

где  $I_{\text{ном.ЭА}}$  - номинальный ток ЭА;

$I_{\text{ф}}$  - ток форсированного режима (максимальный рабочий ток);

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

4) параметрам основной функциональной характеристики.

Проверка ЭА осуществляется по их устойчивости и работоспособности при сквозных токах КЗ.

Должны выполняться следующие условия:

5) ток электродинамической стойкости

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}, \text{А}, \quad (9.12)$$

где  $i_{\text{у}}$  - расчетный ударный ток;

6) допустимый ток термической стойкости с учётом допустимого времени термической устойчивости

$$I_{ТТ}^2 t \diamond I_{К}^2 t, \text{ A}^2 \cdot \text{c} \quad (9.13)$$

где  $I_{К}$  - расчетный ток КЗ;

$t$  - настоящее время отключения КЗ.

Выбираются высоковольтный выключатель, устанавливаемый на питающей РП-10 кВ для защиты и коммутации ТП-6/0,4 кВ цеха.

Данные расчетов и каталога [8] приведены в таблице 9.5.

Таблица 9.5 - Выбор высоковольтного выключателя

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

Трансформаторы тока (ТТ), кроме условий 1-4 выбора электрических аппаратов, выбираются также по классу точности и ответственности расчетной нагрузки вторичных соединений номинальном нагрузке для работы в требуемом классе точности [5,6].

Определяется нагрузки вторичных выводов ТТ

$$Z_{\text{розр}} = 2 \diamond R_{К} + R_{\text{пр}} + R_{\text{пер}}, \text{ Ом} \quad (9.14)$$

где  $R_{К}$  - сопротивление кабелей, Ом;

$R_{\text{пр}}$  - сопротивление приборов, Ом;

$R_{\text{пер}}$  - переходное сопротивление контактов  $R_{\text{пер}} = 0,1 \text{ Ом}$ .

Сопротивление кабелей определяется по формуле

$$R_k = \frac{l}{\nu S}, \text{ Ом} \quad (9.15)$$

где  $l$  - длина кабеля (2 м);

$\nu$  - удельная электропроводность, (для алюминия составляет 34 Ом/м);

$S$  - сечение жилы кабеля.

Сопротивление приборов [7]:

- амперметр Э-335  $R_{\text{пр.А}} = 0,02 \text{ Ом}$ ;

- счетчик СТКЗ-10А1ТЗР  $R_{\text{пр.В}} = 0,02 \text{ Ом}$ ;

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

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

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

Для расчетов параметров ТТ и каталога [8] приведены в таблице 9.6.

Таблица 9.6 - Выбор трансформатора тока

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

В шкафах высоковольтного ввода ТП-10/0,4 кВ устанавливается выключатель нагрузки и предохранитель.

Выбираются выключатели нагрузки.

Данные расчетов и каталога [8] приведены в таблице 9.7.

Таблица 9.7 - Выбор выключателя нагрузки

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/400-10-УЗ
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.в}} \diamond U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.в}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{ном.в}} \diamond I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ф}} = 56 \text{ А}$	$I_{\text{ном.в}} = 250 \text{ А}$
Род установки, соответствие окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	УЗ
По коммутационной способности $I_{\text{ном.вык}} \diamond I_{\text{вык.р}}$ $I_{\text{ном.вкл}} \diamond I_{\text{вкл.р}}$	$I_{\text{выкл.р}} = 80,9 \text{ А}$ $I_{\text{вкл.р}} = 7,662 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.в}} = 250 \text{ А}$ $I_{\text{ном.вкл}} = 10 \text{ кА}$
По динамической устойчивости $i_{\text{дин}} \diamond i_{\text{у.к}}$	$i_{\text{у.к1}} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$
По термической устойчивости $I_{\text{т.т}}^2 \diamond B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 58,7 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т.т}}^2 = 10^2 \diamond = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

Высоковольтные предохранители выбираются по условиям [5,7]:

1) прочности изоляции для работы предохранителя в длительном режиме и при кратковременных перенапряжениях

$$U_{\text{ном.п}} = U_{\text{ном.с}}, \text{ В}; \quad (9.16)$$

2) допустимого нагрева токами в длительном режиме

$$I_{\text{ном.вст}} \diamond I_{\text{ф}} \text{ А}, \quad (9.17)$$

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

3) соответствия окружающей среде;

4) несрабатывания при включении трансформатора

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} \cdot (1 \cdot 2) I_{\text{НОМ.Т}}, \text{ А}; \quad (9.18)$$

5) номинальным током патрона

$$I_{\text{НОМ.П}} \cdot I_{\text{НОМ.ВСТ}}, \text{ А}; \quad (9.19)$$

6) отключающей способности

$$I_{\text{НОМ.ВЫК}} \cdot I_{\text{К}}, \text{ кА}; \quad (9.20)$$

Выбор предохранителей для ТП-10/0,4 кВ [8] приведены в таблице 9.8.

Таблица 9.8 - Выбор 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 $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \cdot I_{\Phi}$	$I_{\Phi} = 56 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$
Род установки, соответствие окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	У3
Несрабатывания при переходных процессах $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \cdot (1 \cdot 2) I_{\text{НОМ.Т}}$	$1,5 \cdot 38,5 = 57,7 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$
По номинальному току $I_{\text{НОМ.П}} \cdot I_{\text{НОМ.ВСТ}}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.П}} = 100 \text{ А}$
По отключающей способности $I_{\text{НОМ.ВЫК}} > I_{\text{К1}}$	$I_{\text{К1}} = 4 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.ВЫК}} = 31,5 \text{ кА}$

## 10 Расчёт технико – экономических показателей системы электроснабжения торгового комплекса

### 10.1 Определение потерь мощности и электроэнергии

Определение потерь мощности и электроэнергии проводится в нормальном режиме работы сети и состоит из расчёта потерь в кабельных линиях 0,38/0,22 кВ и силовых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ [7].

Потери активной и реактивной мощности в кабельной линии трехфазной электрической сети в нормальном режиме определяются:

$$\Delta P^H = 3 I_p^{H2} r_0 L, \text{ кВт} \quad (10.1)$$

$$\Delta Q^H = 3 I_p^{H2} x_0 L, \text{ кВт} \quad (10.2)$$

где  $I_p^H$  – расчетный ток нормального режима, А;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети  $U_{ном}=0,38\text{кВ}$ ;

$r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и реактивное сопротивления линии, мОм/м;

$L$ -длина линии, м.

Определение потерь мощности и электроэнергии проводится на примере участка ТП – П №1 (станция технического обслуживания и ремонта автомобилей).

$$\Delta P_{кв\text{л}}^H = 3 \cdot 34,3^2 \cdot 0,34 \cdot 10^{-6} = 2,39 \quad ;$$

$$\Delta Q_{кв\text{л}}^H = 3 \cdot 34,3^2 \cdot 0,06 \cdot 10^{-6} = 0,42 \quad .$$

Так как участок линии состоит из двух кабелей, то общие потери мощности в линии равны:

$$\Delta P_{кв\text{л}}^{\Sigma} = 2 \cdot 2,39 = 4,78 \quad ;$$

$$\Delta Q_{кв\text{л}}^{\Sigma} = 2 \cdot 0,42 = 0,84 \quad .$$

Потери активной и реактивной электроэнергии в линии трехфазной электрической сети в нормальном режиме определяются по формулам:

$$\Delta W_a^{\Sigma} = \Delta P_{кв\text{л}}^{\Sigma} \tau \quad \text{ч} \quad (10.3)$$

$$\Delta W_p^{\Sigma} = \Delta Q_{кв\text{л}}^{\Sigma} \tau \quad \text{ч} \quad (10.4)$$

где  $\tau$  - время наибольших потерь, [час] вычисляемое по формуле:

$$\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (10.5)$$



здесь  $T_{max}$  - годовое число часов использования максимума нагрузки, определяемое по табл.5.3.10. [7].

$$\tau = (0,124 + 2800 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 1225,31 \text{ ч.}$$

$$\Delta W_{\text{кв}}^{\text{ст}} = 4,78 \cdot 1225,31 = 5857,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{\text{кв}}^{\text{мед}} = 0,84 \cdot 1225,31 = 1029,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Аналогичные расчеты проводятся для других линий распределительной сети, результаты расчётов сведены в таблицу 10.1.

Потери активной мощности в трансформаторе состоят из потерь активной мощности в стали и потерь активной мощности в меди, которые соответственно определяются мощностью холостого хода ( $\Delta P_{xx}$ ) и мощностью короткого замыкания ( $\Delta P_{кз}$ ).

Общие потери мощности в ТП-10/0,4 кВ в нормальном режиме работы определяются по выражениям [7]:

$$\Delta P_{ТП} = k \Delta P_{cm} + \frac{1}{k} \frac{\Delta P_m \cdot S_{p.ТП}^2}{S_n^2}. \quad (10.6)$$

$$\Delta Q_{ТП} = \frac{k I_{xx}^2}{100} + \frac{1}{k} \frac{U_k \cdot S_{p.ТП}^2}{100 S_n}. \quad (10.7)$$

где  $\Delta P_{cm}$ ,  $\Delta P_{xx}$  – потери активной мощности в стали трансформатора, кВт;

$\Delta P_m$ ,  $\Delta P_{кз}$  – потери активной мощности в меди трансформатора при его номинальной нагрузке, кВт;

$k$  – количество трансформаторов ТП;

$S_{p.ТП}$  – расчетная мощность трансформаторной подстанции, кВА;

$I_{xx}$  - ток холостого хода, %;

$U_k$  – напряжение короткого замыкания, %;

$S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Потери мощности в силовых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ в нормальном режиме работы по (10.6) и (10.7)

$$\Delta P_{ТП} = 2 \cdot 1,55 + \frac{1}{2} \cdot \frac{8,05 \cdot 42,3^2}{630^2} = 9,41 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{ТП} = \frac{2 \cdot 2,0 \cdot 30}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5 \cdot 42,3^2}{100 \cdot 30} = 52,37 \text{ квар.}$$

Годовые потери активной электроэнергии в силовых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ определяются:

$$\Delta W_{ТП} = 2 \cdot \Delta P_{cm} \cdot t + 0,5 \cdot \Delta P_m \cdot \beta^2 \cdot \tau, \quad (10.8)$$

где  $t$  – время работы ТП-10/0,4 кВ в год;  $t=8760$  часов;

$\beta$  - коэффициент загрузки в послеаварийном режиме;

$\tau$  – время наибольших потерь.

По [7], т.к. нормальная загрузка трансформатора составляет 65-70%, следовательно, все значения, которые превышают 70%, будет обуславливать максимальные потери, т.е. с 17 до 22 часов (в течении 5 часов в сутки), тогда:

$$T_{max} = 5 \cdot 365 = 1825 \text{ ч.}$$

$$\tau = (0,124 + 1825 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 822,93 \text{ ч.}$$

$$\Delta W_{ТП} = 2 \cdot 1,55 \cdot 8760 + 0,5 \cdot 8,05 \cdot 822,93 \cdot 1,252^2 = 30703,35 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Суммарные годовые потери активной электроэнергии в питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ и в трансформаторах ТП-10/0,4 кВ торгового центра

$$\Delta W^{\Sigma} = \Delta W_{кл}^{\Sigma} + \Delta W_{ТП} = 36152,6 + 30703,35 = 66856 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Таблица 10.1 – Результаты расчета потерь мощности и электроэнергии в питающих кабельных линиях 0,38/0,22 кВ

Линия	Длина участка	Удельные сопротивления участков сети		Ток в норм. режиме	Потери мощности в норм. режиме		Годовое число макс. нагр.	Время наибольших потерь	Потери эл. энергии в норм. режиме работы	
		$r_0$	$x_0$		$\Delta P^H$	$\Delta Q^H$			$\Delta W_a^H$	$\Delta W_p^H$
-	$L$	мОм/м		$I_p^H$	кВт	квар	$T_{max}$	$\tau$	кВт·ч	квар·ч
-	м			А			час	час		
ТП – П №1	60	0,34	0,06	134,3	4,78	0,84	2500	1225,31	5857,0	1029,3
ТП – П №2	80	0,14	0,06	220,9	5,74	2,46	3000	1574,85	9039,6	3874,1
ТП – П №3	140	0,34	0,06	124,3	1,89	0,02	3000	1574,85	2976,5	810,5
ТП – П №4	160	0,64	0,06	96,8	0,36	0,03	2500	1225,31	441,1	160,8
ТП – П №5	180	2·0,17	2·0,06	335,2	9,16	3,24	2500	1225,31	11223,8	3970,0
ТП – П №6	200	0,14	0,06	218,8	0,40	0,09	3000	1574,85	629,9	141,7
ТП – П №7	210	0,46	0,06	102,9	3,21	0,42	3000	1574,85	5055,3	661,4
ТП – П №8	240	2,15	0,06	35,7	0,65	0,01	2800	1429,77	929,4	240,3
Итого по ТП-10/0,4 кВ					26,19	7,11	-	-	36152,6	9758,4

## 10.2 Расчёт экономических показателей системы электроснабжения

Себестоимость передачи электроэнергии определяется [12]:

$$C = I_{ам} + I_{к.р.} + I_з + I_{пр} \qquad C = I_{ам} + I_{к.р.} + I_з + I_{пр}$$

где  $I_{ам}$  – амортизационные отчисления на реновацию, предназначенные для полного возмещения основных фондов объекта;

$I_{к.р.}$  – отчисления на капитальный ремонт, предназначенный для частичного восстановления и модернизации оборудования;

$I_з$  – зарплата обслуживающего персонала;

$I_{пр}$  – прочие производственные и внепроизводственные расходы, включающие затраты на вспомогательные материалы, текущий ремонт, услуги вспомогательных производств, а также общественные расходы;

$I_з$  – затраты на потери электроэнергии.

Затраты  $I_з$  и  $I_{пр}$  объединяются в виде затрат на обслуживание сетей  $I_{обс}$  [12]:

$$I_{обс} = I_з \qquad I_{обс} = I_з$$

Таблица 10.2 – Исходные экономические показатели

Элемент сети			Капитальные затраты		Норма амортизационных отчислений, %		Условные единицы	
Вид	Параметр	Кол-во	тыс.р/ТП	тыс.р/км	$P_{рен}$	$P_{к.р.}$	ед/ПС в год	ед/км в год
ТП	630 кВА	2 шт.	466	-	6,6	2,9	4,0	-
КЛ	3x10 +1x6	0,21 км	-	45,0	3,0	0,6	-	1,7
	3x50 +1x25	0,16 км	-	180,0				
	3x70 +1x25	0,21 км	-	242,0				
	3x95 +1x35	0,20 км	-	319,0				
	3x185 +1x50	0,36 км	-	584,0				
	3x240 +1x50	0,28 км	-	761,0				

Данные для таблицы выбираются по [8,10,12].

Суммарные капитальные вложения в ПС и ВЛ:

$$KB_{\Sigma} = N_m C_m + L_{\text{КЛ}} C_{\text{КЛ}}, \quad (10.11)$$

где  $N_m$ ,  $C_m$  – соответственно количество и цена трансформаторов подстанции (ТП);

$L_{\text{КЛ}}$ ,  $C_{\text{КЛ}}$  – соответственно длина и цена кабельных линий (КЛ).

$$KB_{\Sigma} = 2 \cdot 66 + (0,21 \cdot 5 + 0,16 \cdot 80 + 0,21 \cdot 42 + 0,2 \cdot 19 + 0,36 \cdot 84 + 0,28 \cdot 61) = 1508,15 \text{ тыс. руб.}$$

Отчисления на амортизацию

$$I_{\text{ам}} = a_{\text{ТП}} (N_m C_m) + a_{\text{КЛ}} (L_{\text{КЛ}} C_{\text{КЛ}}), \quad (10.12)$$

где  $a_{\text{ТП}}$ ,  $a_{\text{КЛ}}$  – амортизационные отчисления, соответственно на ТП и КЛ.

$$I_{\text{ам}} = 0,066 \cdot 2 \cdot 66 + 0,03 \cdot 76,15 = 78,8 \text{ тыс. руб.}$$

Отчисления на капитальный ремонт

$$I_{\text{КР}} = a_{\text{КР}} (N_m C_m) + a_{\text{КР}} (L_{\text{КЛ}} C_{\text{КЛ}}) \quad (10.13)$$

$$I_{\text{КР}} = 0,029 \cdot 2 \cdot 66 + 0,006 \cdot 76,15 = 30,5 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на обслуживание сети:

количество условных единиц

$$U_{\text{сл.ед}} = K_{\text{ТП}} N_m + K_{\text{КЛ}} L_{\text{КЛ}} \quad (10.14)$$

$$U_{\text{сл.ед}} = 4 + 1,7 \cdot 42 = 10,4 \text{ у. е.}$$

затраты на обслуживание

$$I_{\text{обс}} = 10,4 \cdot 270 = 23,6 \text{ тыс. р.}$$

Стоимость потерь электроэнергии  $З_{\text{п}} = 2,85$  р/кВтж [7], а годовые потери электроэнергии в сетях торгового центра составляют 66856 кВт·ч.

$$I_{\text{э}} = 2,85 \cdot 66856 = 190,5 \text{ тыс. р}$$

Суммарные годовые издержки:

$$C = I_{ам} + I_{КР} + I_{обсл} + I_{Э}. \quad (10.15)$$

$$C = 78,8 + 30,5 + 23,6 + 190,5 = 323,4 \text{ тыс. р.}$$

Себестоимость передачи энергии в сети 0,4 кВ:

$$C_3 = \frac{C}{W}. \quad (10.16)$$

$$C_3 = \frac{323,4}{615,6} = 0,53 \text{ р/кВт} \blacklozenge.$$

Полная себестоимость отпущенной электроэнергии по проектируемой сети, себестоимость производства и передачи электроэнергии в энергосистеме:

$$C_{II} = 1,36 + 0,53 = 1,89 \text{ р/кВт} \blacklozenge.$$

Удельные приведенные затраты на передачу электроэнергии:

$$z = \frac{C + KB_{\Sigma}}{W}. \quad (10.17)$$
$$z = \frac{323,4 + 1508,15}{615,6} = 2,97 \text{ р / кВт} \blacklozenge.$$

## **11 Охрана труда**

### **11.1 Обеспечение электробезопасности**

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.

К обслуживанию действующих электроустановок допускаются лица, не имеющие травм и болезней, мешающих производственной работе [13]. Состояние здоровья электротехнического персонала определяется медицинским осмотром при приеме на работу и периодическим обзором [13]. До назначения на самостоятельную работу персонал должен пройти производственное обучение на рабочем месте. После этого квалификационная комиссия проверяет знания, присваивает соответствующую группу по электробезопасности. Электромонтер должен знать устройство и обслуживание электроустановок и иметь представление об опасностях при работе в электроустановках, знать общие правила техники безопасности, правила допуска к работам в электроустановках и специальные правила техники безопасности по тем видам работ, которые входят в обязанности лица, вести надзор за работающими в электроустановках, знать правила осуществления первой помощи и уметь применять их на практике.

Перед началом работ в электроустановках в целях безопасности необходимо провести организационные и технические мероприятия [13].

К организационным мероприятиям относят выдачу нарядов, распоряжений и допуска к работе, надзор во время работы, оформление перерывов в работе, переводов на другое рабочее место и окончания работы.

Наряд – это задание на безопасное выполнение работ, которое определяет их место и содержание, время начала и окончания, необходимые меры безопасности, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность выполнения работ. Наряд выдается на бланке специальной формы [13].

Распоряжение – это задание на выполнение работ, которое определяет их содержание, место и время, правила безопасности и лиц, которым поручено выполнение этих работ. Наряды и распоряжения выдают лица, имеющие группу по электробезопасности не ниже 5 в электроустановках выше 1 кВ, и не ниже 4 в установках напряжением до 1 кВ [13].

Наряд на работу выписывается в двух экземплярах и выдается оперативному персоналу перед началом подготовки рабочего места [13].

При работе по наряду бригада должна состоять не менее двух лиц. Исполнитель работ несет ответственность за правильность подготовки рабочего места, выполнение необходимых для производства мер безопасности. Он проводит инструктаж бригады, следит за исправностью инструмента, такелажа, ремонтной оснастки [13].

Исполнитель работ, выполняемых по наряду в электроустановках напряжением выше 1000 В, должен иметь группу по электробезопасности не ниже 4, в установках до 1000 В и для работ, выполняемых по распоряжению, - не ниже, чем 3 [13].

Допуск к работе осуществляется допускающим – ответственным лицом из оперативного персонала. Перед допуском к работе ответственный руководитель и производитель работ совместно с допускающим проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места. После этого допускающий проверяет соответствие состава бригады и квалификации лиц, которые в нее включены, зачитывает по наряду фамилии



ответственного руководителя, производителя работ, членов бригады и содержание работы, которая поручена; объясняет бригаде, откуда снято напряжение, где наложены заземления, какие части ремонтируемых и соседних присоединений остались под напряжением и особые условия; указывает бригаде границы рабочего места [13].

После разъяснений допускающий показывает бригаде, что напряжение отсутствует (с помощью указателя напряжения). С момента допуска бригады к работам по предупреждению требований техники безопасности исполнитель работ или наблюдающий осуществляет надзор. Наблюдающему запрещается совмещать надзор с производством любой работы и оставлять бригаду без надзора во время работы [13].

Разрешается кратковременное отсутствие одного или нескольких членов бригады. При отсутствии исполнителя работ, если его не сможет заменить ответственный руководитель или лицо, выдающее данный наряд, или лицо из оперативного персонала, бригада выводится из электроустановки и оформляется перерыв в работе [13].

К техническим мерам относят отключения напряжения и принятия мер, препятствующих ошибочному или самопроизвольному включению коммутационной аппаратуры, вывешивание запрещающих плакатов; проверку отсутствия напряжения, наложения заземления, вывешивание предупредительных и предписывающих плакатов.

В электроустановках выше 1 кВ для обеспечения препятствованию ошибочному или самопроизвольному включению коммутационных аппаратов выполняют следующие мероприятия [13]:

- ручные приводы в отключенном положении и стационарные ограждения запирают на механический замок;
- у приводов коммутационных аппаратов, имеющих дистанционное управление, отключают силовые цепи и цепи оперативного тока;

- в грузовых и пружинных приводах включают груз или пружины приводят в нерабочее положение.

В электроустановках до 1 кВ запирают дверцы шкафа, укрывают кнопки, устанавливают между контактными изолирующие накладки, отсоединяют концы проводников от сети [13].

Отключенное положение аппаратов с недоступными для осмотра контактами определяется проверкой отсутствия напряжения.

На приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационной аппаратуры, вывешиваются запрещающие плакаты «Не включать. Работают люди», а на линиях - «Не включать. Работа на линии».

Токоведущие части, доступные для непредвиденного прикосновения во время работы, ограждают щитами, экранами из изоляционных материалов, изолирующими накладками или устанавливают специальные передвижные ограждения. Рабочее место ограждается канатом с плакатами «Стой. Напряжение» [13]. На всех подготовленных рабочих местах после наложения заземления и ограждения рабочего места вывешивают плакат «Работать здесь». Во время работы запрещается переставлять или убирать плакаты и установленные временные ограждения, а также заходить на территорию огражденных участков.

Отсутствие напряжения проверяют между всеми фазами, каждой фазой и землей, каждой фазой и нулевым проводом [13]. Для проверки отсутствия напряжения используются указатели напряжения. Не допускается использовать контрольные лампы. Также применяются различные устройства, сигнализирующие об отключении положения аппаратов: блокирующие устройства, вольтметры, индикаторы напряжения. При сигнализации этих устройств о наличии напряжения, не следует приближаться к данному электрооборудованию и надо доложить оперативному персоналу [13].

## 11.2 Расчет заземления ТП – 10/0,4 кВ

Согласно п 1.7.32. [1], для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции следует применять, по крайней мере, одну из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение и т.д. Заземление следует применять во всех электроустановках напряжением выше 1кВ, а также в электроустановках до 1кВ с изолированной нейтралью. Назначение защитного заземления состоит в том, чтобы обеспечить между корпусами заземляемого электрооборудования и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением, и тем самым снизить до безопасного значения напряжение прикосновения во время замыкания на корпус оборудования.

Для электроустановок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, согласно п 1.7.62. [1], сопротивление заземляющего устройства, при линейном напряжении 380 В, в любое время года должно быть не более 4 Ом.

Рассчитывается заземляющее устройство для трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ согласно методике [14]. Предполагается сооружение заземляющего устройства с внешней стороны здания ТП с расположением вертикальных электродов по периметру. В качестве вертикальных заземлителей принимаются стальные стержни диаметром 16 мм и длиной 2 м, которые погружаются в грунт методом вкручивания. Верхние концы электродов погружены на глубину 0,7 м. Предварительно, с учетом площади, занимаемой ТП, намечается расположение заземлителей – по периметру с расстоянием между вертикальными электродами равным 4 м.

Расчетные удельные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей по выражениям [14]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z} , \quad (11.1)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в} , \quad (11.2)$$

где  $\rho_{y\delta}$  - удельное сопротивление грунта, согласно [14] принимается равным  $\rho_{y\delta} = 100$  Ом·м (тип почвы – суглинок);

$K_{n.z}$  и  $K_{n.в}$  - повышающие коэффициенты для горизонтальных и вертикальных электродов, определяемые по [14].

Для грунта средней влажности (коэффициент  $K_2$ ) по [14] эти коэффициенты равны  $K_{n.z} = 2$ ;  $K_{n.в} = 1,5$ .

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода стержневого типа определяем по формуле [14]:

$$R_{o.в} = \frac{\rho_{p.в}}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \quad (11.3)$$

где  $l$  - длина электрода,  $l = 2$  м;

$d$  - внешний диаметр электрода,  $d = 0,016$  м;

$t$  - расстояние от поверхности земли до середины электрода,  $t = 0,5 \cdot 2 + 0,7 = 1,7$  м.

$$R_{o.в} = \frac{150}{2 \cdot 2} \ln \frac{2 \cdot 2}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} = 69,53 \text{ Ом}.$$

Примерное число вертикальных заземлителей по формуле [14]:

$$N = \frac{R_{o.в}}{K_{u.в}}, \quad (11.4)$$

где  $K_{u.в}$  - коэффициент использования вертикальных заземлителей, размещенных по контуру, без учета влияния горизонтальных электродов связи, принимаемый по [14].

Коэффициент  $K_{u.в}$  определяется по примерно выбранному количеству вертикальных электродов и отношению расстояний между вертикальными электродами к их длине:  $4/2 = 2$ , поэтому  $K_{u.в} = 0,66$ .

$$N = \frac{69,53}{0,66} = 26,34 \approx 27 \text{ шт.}$$

Расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов (шина полосовая 40x8 мм) по формуле [14]:

$$R_{p.r} = \frac{\rho_{p.r}}{K_{u.z.}} \ln \frac{2t^2}{b}, \quad (11.5)$$

где  $K_{u.z.}$  - коэффициент использования горизонтальных соединительных электродов в контуре из вертикальных электродов, определяемый по [14],  $K_{u.z.}=0,32$ ;

$l$  - общая длина горизонтальных электродов, для принятого типа ТП,  $l=42\text{м}$ ;

$t$  - расстояние до поверхности земли,  $t=0,7$  м;

$b$  - ширина полосы,  $b=0,08$  м.

$$R_{p.r} = \frac{200}{0,32 \cdot 42} \ln \frac{2 \cdot 0,7^2}{0,08} = 26,17 \text{ Ом.}$$

Уточненное сопротивление вертикальных электродов [14]

$$R_{в.е} = \frac{R_{p.z}}{R_{p.z} - R}. \quad (11.6)$$

$$R_{в.е} = \frac{26,17}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

Уточненное число вертикальных электродов при коэффициенте использования вертикального электрода, соответствующего  $N=27$  штук, определяемом по [14]:

$$N = \frac{R_{o.в.э}}{K_{u.в.э} + R}. \quad (11.7)$$

$$N_{итт} = \frac{69,53}{0,61 + 4,72} = 24,15 \approx 25.$$

Таким образом, окончательно принимается 25 вертикальных электродов, расположенных вокруг ТП.

Тогда сопротивление вертикальных заземлителей:

$$R_{\text{в.э.}} = \frac{R_{\text{о.в.э.}}}{K_{\text{у.в.у}} + N} = \frac{69,53}{0,61 + 25} = 4,56 \quad .$$

Общее сопротивление заземлителей

$$R_{\text{общ.}} = \frac{R_{\text{з.в.э.}}}{R_{\text{з.в.э.}} + R} \quad (11.8)$$

$$R_{\text{общ.}} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 \quad .$$

Полученное сопротивление меньше 4 Ом, т.е. рассчитанный контур заземления удовлетворяет необходимым требованиям.

Схема выполнения заземляющего контура показана на рис. 11.1.

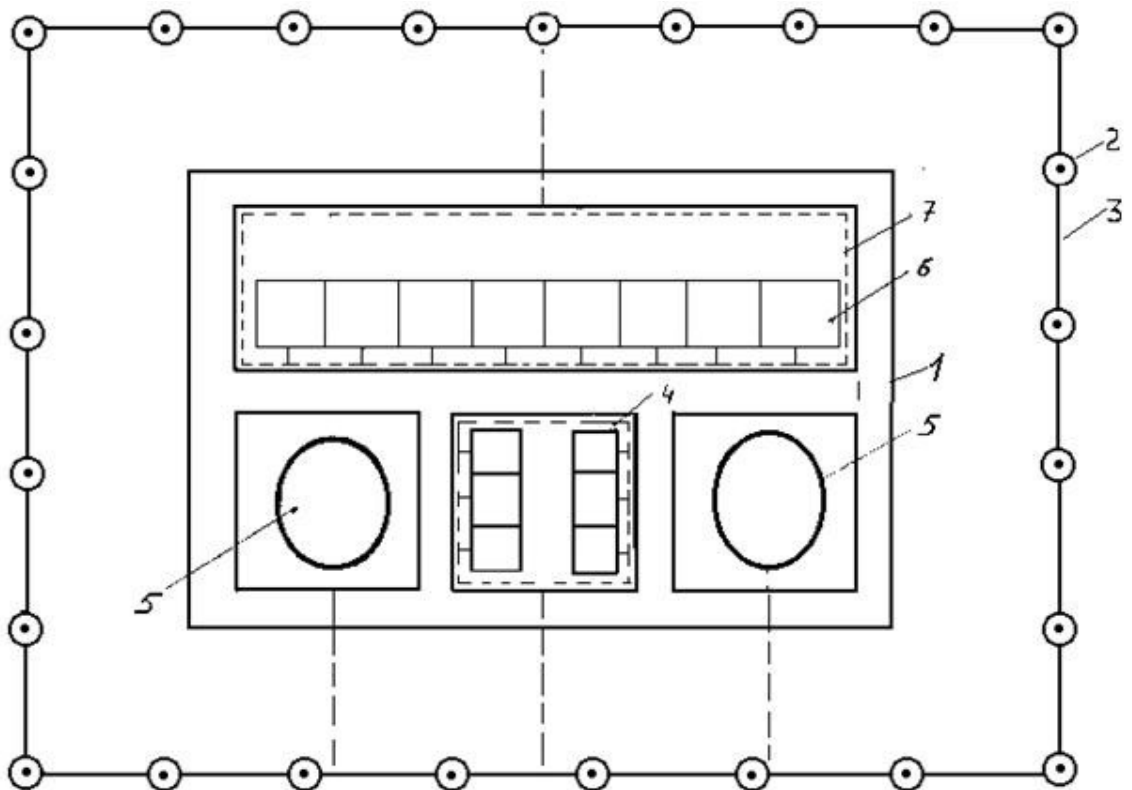


Рисунок 11.1 – Схема заземляющего контура ТП: 1 - здание ТП, 2 - вертикальный электрод, 3 - горизонтальный электрод, 4 - камеры ВН (КСО-366), 5 - трансформатор, 6 - шкафы 0,4 кВ, 7 – заземляющий проводник

## Заключение

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения торгового комплекса. 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 торгового комплекса составляют электроприемники II категории, на ТП-10/0,4 кВ принята установка двух трансформаторов ТМ-630/10. Конструктивно ТП выполнена закрытой. Осуществлены выбор схемы электроснабжения и конструктивного выполнения сетей торгового комплекса.

В результате проведенного расчета, для защиты сетей и потребителей торгового комплекса 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 II категорий торгового комплекса осуществлено по радиальной схеме от ТП-10/0,4 кВ с применением двух кабелей (с учётом резервирования) согласно [2]. Для питания потребителей торгового комплекса 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.

Также в работе определены потери мощности и электроэнергии в питающей сети низкого напряжения и в трансформаторах ТП, произведены расчёты заземления ТП-10/0,4 кВ и экономических показателей.

Разработанная система электроснабжения торгового комплекса отвечает требованиям безопасности, экономичности и надёжности.

### Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп.– М.: Главгосэнергонадзор России, 2013. – 692 с.
2. Козлов В.А. «Электроснабжение городов».- 5- е издание, перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат Ленинградское отделение, 2002. – 264 с.
3. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ: Справочник электромонтажника. Под ред. А.Д. Смирнова и др. – М: Энергоатомиздат, 1988 – 192 с.
4. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», Госстрой РФ, 2004. – 73 с.
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 4е издание, переаб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
6. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576с.
7. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. - Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова - М: Энергоатомиздат, 1986. - 568 с.: ил.
8. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2012.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. - 392 с.: ил.
10. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник / Н.И.



Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева; Под. ред. Н.И. Белоруссова. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 536 с.: ил.

11. Электротехнический справочник: В 3 т. Т.3. В 2 кн. Кн.1. Производство и распределение электрической энергии. - под общ. ред. И.Н. Орлова. - 7-е изд., испр. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1988. – 880 стр.

12. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. – М.: Колос, 2008 – 263с.

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

14. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2005 г.