

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт – филиал  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.С. Торопов  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023г.

## **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код - наименование направления

Электроснабжение торгового центра «Волна»  
г. Барнаул, ул. Власихинская, 65  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_ 2023г. доцент каф. ЭЭ,к.э.н. Н.В. Дулесова  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы , фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ 2023г А.В. Симонов  
подпись дата инициалы , фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ 2023г \_\_\_\_\_ И.А. Кычакова  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Абакан 2023

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт – филиал  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.С. Торопов

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Симонову Александру Васильевичу  
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 18-01 (З-18)

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Электроснабжение торгового центра «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65

Утверждена приказом по институту № 287 от 17.05.2023 г.

Руководитель ВКР: Дулесова Н.В., к.э.н., доцент кафедры «ЭМиАТ»  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР План торгового центра с указанием места расположения электрических нагрузок, ведомость электрических нагрузок.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

1 Теоретическая часть

- 1.1 Нормативные требования к системе электроснабжения торгового центра
- 1.2 Анализ предоставленных данных
- 1.3 Характеристика объекта проектирования

2 Аналитическая часть

- 2.1 Светотехнический расчет системы освещения
- 2.2 Электротехнический расчет системы освещения
- 2.3 Распределение электроприемников на группы и расчет нагрузок силовых пунктов
- 2.4 Распределение несимметричной электрической нагрузки по фазам
- 2.5 Расчет нагрузки главного распределительного устройства объекта

3. Практическая часть. Проектирование сети внутреннего электроснабжения

- 3.1 Выбор коммутационных аппаратов
- 3.2 Выбор кабельно-проводниковой продукции
- 3.3 Выбор прочих электрических устройств
- 3.4 Проверка по допустимым потерям напряжения
- 3.5 Расчет токов короткого замыкания. Проверка электрооборудования.

Перечень обязательных листов графической части:

- 1 План расположения элементов системы освещения с разводкой осветительной сети;
- 2 План расположения силовых электроприемников с нанесенной разводкой электрической сети;
- 3 Расчетные схемы силовых щитков.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ / Н.В.Дулесова  
(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ / А.В.Симонов  
(подпись, инициалы и фамилия студента)

«15» марта 2023 г

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Электроснабжение торгового центра «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65» содержит 65 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 4 листа графического материала.

ЭЛЕКТРОСБЕРЕЖЕНИЕ, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЕ.

Проектируемый объект – торговый центр «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65.

Цель выпускной квалификационной работы – проектирование системы электроснабжения торгового центра «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- проектирование наиболее экономичной и рациональной системы электроснабжения 0,4 кВ;
- выбор сечений проводов и кабелей, коммутационных аппаратов, распределительных пунктов;
- расчет токов короткого замыкания, проверка оборудования на термическую и электродинамическую стойкость;
- расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания, проверка коммутационных аппаратов по отключающей способности и по чувствительности.

В выпускной квалификационной работе выполнен расчёт системы электроснабжения объекта 0,4 кВ торгового центра «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65, с учетом современных требований к системам электроснабжения, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды. Рассчитаны электрические нагрузки по уровням электроснабжения. Выбранное электротехническое оборудование проверено на действие токов короткого замыкания и на термическую стойкость.

## ABSTRACT

The final qualifying work on the topic "Electricity supply of the Volna shopping center, Barnaul, ul. Vlasikhinskaya, 65" contains 65 pages of a text document, 25 sources used, 4 sheets of graphic material.

POWER SAVING, SHORT CIRCUIT, ELECTRICAL EQUIPMENT, ELECTRIC RECEIVER, ELECTRICITY, ENERGY EFFICIENCY, EQUIPMENT SELECTION, ELECTRIC LIGHTING.

The projected object is the shopping center "Volna" Barnaul, ul. Vlasikhinskaya, 65.

The purpose of the final qualification work is the design of the power supply system of the Volna shopping center in Barnaul, Vlasikhinskaya str., 65.

Tasks of the final qualifying work:

- design of the most economical and rational 0.4 kV power supply system;
- selection of cross sections of wires and cables, switching devices, distribution points;
- calculation of short-circuit currents, testing of equipment for thermal and electrodynamic stability;
- calculation of three-phase and single-phase short-circuit currents, checking of switching devices for breaking capacity and sensitivity.

In the final qualifying work, the calculation of the power supply system of the 0.4 kV object of the Volna shopping center, Barnaul, Vlasikhinskaya str., 65, was carried out, taking into account modern requirements for power supply systems, such as reliability, efficiency, safety for humans and the environment. The electrical loads are calculated according to the power supply levels. The selected electrical equipment has been tested for the effect of short-circuit currents and for thermal stability.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Характеристика объекта и приемников электроэнергии.....	9
2 Анализ предоставленных данных .....	10
3 Нормативные требования к системам электроснабжения торгового центра ..	11
4 Светотехнический расчет системы освещения.....	15
5 Светотехнический расчет системы аварийного освещения .....	19
6 Электротехнический расчет системы освещения.....	20
7 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок силовых пунктов.....	24
8 Распределение несимметричной электрической нагрузки по фазам .....	30
9 Расчет нагрузки главного распределительного устройства объекта.....	30
10 Проектирование сети внутреннего электроснабжения.....	34
11 Выбор коммутационных аппаратов .....	38
12 Выбор кабельно-проводниковой продукции .....	41
13 Выбор прочих электрических устройств.....	42
14 Проверка по допустимым потерям напряжения.....	45
15 Расчет токов КЗ .....	47
16 Проверка электрооборудования на термическую и электродинамическую стойкость.....	50
17 Расчет токов трехфазного КЗ сети 0,4 кВ. Проверка коммутационных аппаратов по отключающей способности.....	51
18 Расчет токов однофазного КЗ сети 0,4 кВ. Проверка коммутационных аппаратов по чувствительности .....	51
19 Расчет потерь напряжения и анализ качества напряжения силовой и осветительной сети .....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Торговый центр — группа предприятий торговли, управляемых как единое целое и находящихся в одном здании или комплексе зданий. По определению Международного совета торговых центров, торговым центром можно считать группу архитектурно объединённых розничных предприятий, управляемых единой компанией, обеспеченных парковкой и расположенных на специально спланированном участке. Сегодня по всей России полным ходом идет развитие и строительство торговых комплексов — многоэтажных зданий, в которых кроме магазинов могут находиться также кафе, бары, казино, кинотеатры, боулинги. Как правило, комплексы оборудованы эскалаторами, лифтами, снабжены парковкой для личного транспорта покупателей и расположены около остановок общественного транспорта или в спальных районах города. Такие торговые центры могут представлять собой образцы сосредоточия современной массовой культуры. После появления в г. Барнаул первых торговых комплексов интерес к ним с каждым годом становился все больше, а строительство новых микрорайонов спровоцировало резкий скачок потребности в них. Поэтому строительство новых торговых центров не только улучшает инфраструктуру города, но и способствует обеспечению населения необходимыми товарами, что положительно влияет на бюджет города. Актуальность выпускной квалификационной работы обусловлена тем, что в настоящее время в г. Барнаул происходит бурное строительство новых микрорайонов, отдаленных от центра, что требует создания инфраструктуры, в том числе и возведения торговых центров. Цель выпускной квалификационной работы на основе исходных данных спроектировать электроснабжение торгового центра в г. Барнаул. Для достижения данной цели были определены следующие задачи:

- проектирование наиболее экономичной и рациональной системы электроснабжения 0,4 кВ;
- выбор сечений проводов и кабелей, коммутационных аппаратов, распределительных пунктов;

-расчет токов короткого замыкания, проверка оборудования на термическую и электродинамическую стойкость;

- расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания, проверка коммутационных аппаратов по отключающей способности и по чувствительности.

Объектом данной работы является разработка электроснабжения торгового центра в г. Барнаул. Практическая применимость данной выпускной квалификационной работы состоит в возможности электроснабжения торгового центра по результатам разработанного проекта.

Электроснабжение торгового центра «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65 напрямую зависит от вида предлагаемой продукции. В торговых центрах энергоснабжение обуславливается, прежде всего, наличием холодильных установок - это холодильные и морозильные витрины, весовые приборы, кассы и т.д. Особенность электроснабжения объектов торговли заключается не только в высокой насыщенности и разветвленности внутренних электросетей, но, так же, в мощностях потребления электроэнергии различными установками. Холодильные установки, вспомогательные приборы и системы, в состав которых входят различные электрические двигатели, потребляют намного больше электроэнергии, чем осветительные приборы, что требует более сложной схемы электроснабжения с учетом заземления электрических приборов. Один из важных факторов, который влияет на продажи в торговом центре – это освещение. При создании комфортной обстановки для покупателя освещение является очень важной составляющей, которая может как увеличивать продажи, так и уменьшать их.



## **1 Характеристика объекта и приемников электроэнергии**

Торговый центр «Волна» расположен по адресу: г. Барнаул, ул. Власихинская, 65, режимы работы с 8:00 до 23:00 без обеда и выходных. Торговый центр «Волна» предусматривает наличие, служебных, вспомогательных и бытовых помещений. Холодильные, силовые и тепловые электроустановки различного назначения размещены в торговом этаже. Наиболее мощный приемник – Тепловая завеса 9 кВт. Остальные приборы объединены в розеточные группы. Используются одинарные розетки.

По степени надежности электроснабжения торговый центр относится к потребителям второй категории. Приборы пожарно-охранной сигнализации относятся к первой категории, которая обеспечивается вторичным источником питания (АКБ).

Потребители электроэнергии относятся ко 2 категории надежности электроснабжения. По роду тока электроприёмники относятся к потребителям, работающим от сети переменного тока промышленной частоты (50 Гц), напряжения 220/380 В, число фаз равно 3. Режим работы электроприемников длительный, повторно-кратковременный.

Здание имеет 2 этажа и цокольный этаж. Площадь второго этажа  $755,6\text{ м}^2$ , площадь первого  $656,4\text{ м}^2$ , площадь цокольного этажа  $677,2\text{ м}^2$ . Высота первого, второго этажей и цокольного 4 м.

Электроснабжение осуществляется от существующего главного распределительного щита 0,4 кВ, расположенного в электрощитовой здания.

Расчетный учет электроэнергии осуществляется счетчиками установленными в главном щите.

## 2 Анализ предоставленных данных

В таблице 1 приведена ведомость электрических нагрузок торгового центра «Волна» с указанием количества потребителей на розеточную сеть и их общей мощностью.

Таблица 1 - Ведомость электрических нагрузок торгового центра «Волна»

Наименование	Обозначение на плане	U <sub>ном</sub> , В	Кол-во потребителей	Общая мощность ЭП, кВт
1	2	3	4	5
Тепловая завеса	1Т	220	1	9,0
Тепловая завеса	2Т	220	1	9,0
Торговый зал 1				
Розеточная сеть	гр.1-6р	220	5	2,0
Розеточная сеть	гр.1-7р	220	3	2,0
Розеточная сеть	гр.1-8р	220	4	2,0
Розеточная сеть	гр.1-9р	220	3	1,8
Розеточная сеть	гр.1-10р	220	3	1,8
Розеточная сеть	гр.1-11р	220	3	2,2
Торговый зал 2				
Розеточная сеть	гр.2-6р	220	6	1,8
Розеточная сеть	гр.2-7р	220	2	1,5
Розеточная сеть	гр.2-8р	220	4	2,0
Розеточная сеть	гр.2-9р	220	3	2,0
Розеточная сеть	гр.2-10р	220	3	1,5
Торговый зал 3				
Рукосушитель	гр.3-5р, 3Т	220	1	1,0
Розеточная сеть	гр.3-6р	220	5	1,5
Розеточная сеть	гр.3-7р	220	7	1,5
Розеточная сеть	гр.3-8р	220	2	2,0
Розеточная сеть	гр.3-9р	220	3	1,5
Розеточная сеть	гр.3-10р	220	4	2,2
Розеточная сеть	гр.3-11р	220	5	2,0
Розеточная сеть	гр.3-12р	220	4	1,5
Розеточная сеть	гр.3-13р	220	4	2,2

На рисунке 1 представлен генеральный план ТЦ «Волна».

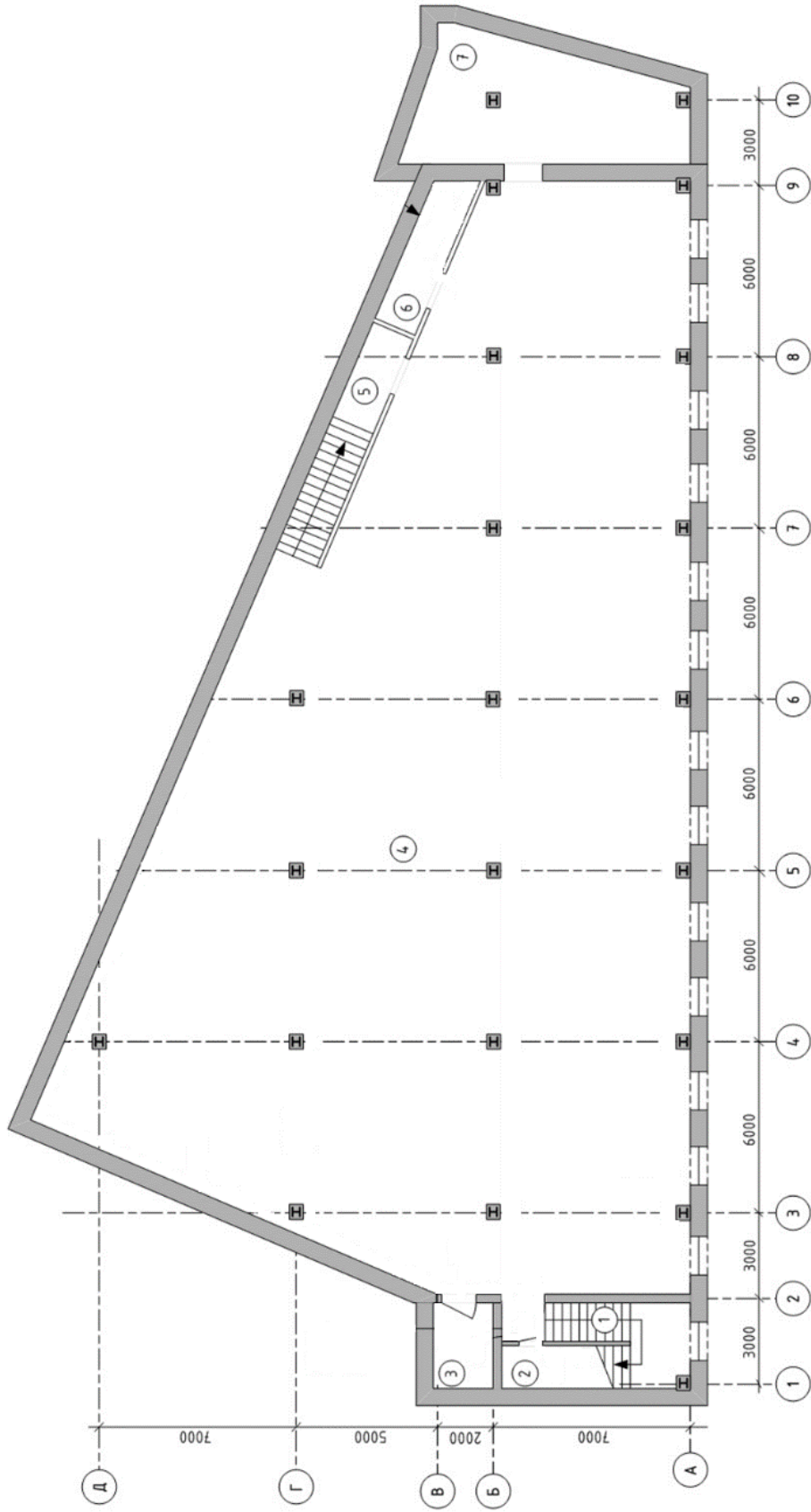


Рисунок 1 – План ТЦ «Волна» на отметке -3.650

### **3 Нормативные требования к системам электроснабжения торгового центра**

Электрическая энергия от ВРУ до электроприемников распределяется по сетям, имеющим различные схемы построения. Выбор схемы зависит от территориального расположения приемников электрической энергии относительно ВРУ, а также относительно друг друга, величины установленной мощности отдельных электроприемников и надежности электроснабжения.

Правильно составленная схема должна обеспечить простоту и удобство эксплуатации; быть экономичной по капитальным затратам на её сооружение, расходу цветных металлов, эксплуатационным расходам и потерям электроэнергии. Кроме того, схема питания должна допускать применение индустриальных и скоростных методов монтажа.

По назначению осветительные и силовые сети делятся на питающие и распределительные.

Питающей сетью называют линии от ВРУ здания до групповых щитков освещения и силовых распределительных пунктов, распределительной — линии, идущие от силовых распределительных пунктов, а групповой линии от групповых щитков освещения до светильников.

Каждую питающую линию, отходящую от ВРУ здания, можно выполнять по схемам радиальной, магистральной и радиально-магистральной. При питании от радиальной линии электрическая нагрузка присоединяется только в конце линии в точке питания, а при питании от магистральной линии отдельные нагрузки присоединяются на всем ее протяжении.

Радиальная схема обеспечивает высокую надежность питания отдельных потребителей, так как при аварии в питающей линии прекращает

работу только один или несколько электроприемников, в то время как остальные электроприемники других линий продолжают нормально действовать. В осветительных сетях радиальная схема питания почти не применяется из-за высокой стоимости сооружения и значительного расхода цветного металла.

В силовых сетях радиальные линии применяют для непосредственного питания отдельных мощных электроприемников, находящихся друг от друга на большом расстоянии, или отдельных силовых распределительных пунктов, питающих электроприемники небольшой мощности, которые расположены отдельными группами.

Основным требованием при построении осветительной сети является обеспечение бесперебойности питания, так как внезапное прекращение освещения может привести к несчастным случаям. Правильно составленная схема питания должна либо исключать случаи аварийного прекращения освещения, либо свести их до минимума. Выполнения указанных требований достигают соответствующим построением схемы осветительной сети. Согласно [12] в общественных зданиях кроме рабочего освещения должно быть предусмотрено и аварийное, обеспечивающее продолжение работы или безопасную эвакуацию людей из здания.

Осветительная установка обеспечивается более надежной схемой питания. Схема питания рабочего и аварийного освещения называется перекрестной.

При проектировании осветительных и силовых сетей следует стремиться к варианту, удовлетворяющему всем техническим требованиям: надежности действия сетей, удобству и безопасности эксплуатации, экономичности. Важнейшим условием надежности электрических сетей и электрооборудования, а также безопасности их обслуживания является правильный их выбор в зависимости от технологического назначения помещений, в которых они должны работать. Особенно важно это при

выборе сетей и электрооборудования для пожаро- и взрывоопасных помещений.

Неблагоприятные условия окружающей среды (пыль, влажность, химически активная среда, высокая температура и т. п.) могут повредить изоляцию проводов сети и электрооборудования и привести к пробоям, а это нередко вызывает короткие замыкания и выход из строя электрической сети и электрооборудования, а также поражение обслуживающего персонала электрическим током. Для того чтобы правильно выбрать для каждого помещения электрическую проводку и электрооборудование, необходимо определить, к какой категории относится то или иное помещение (например, к категории сухих, влажных, особо сырых, жарких, пыльных, с химически активной средой, пожаро- или взрывоопасных). Затем нужно согласно требованиям ПУЭ выбрать для каждого помещения соответствующую марку проводов и кабелей, способ прокладки сетей, а также наполнение осветительной арматуры и электрооборудования.

Сети электрического освещения предназначены для электроснабжения осветительных установок. Осветительные сети обычно не совмещаются с силовыми сетями. Тем не менее, питание осветительных установок обычно производится от общих для силовых и осветительных сетей. Особенности осветительных электрических сетей по сравнению с силовыми сетями являются: значительная протяженность и разветвленность, небольшие мощности отдельных электроприемников и участков сети, наличие установок рабочего и аварийного освещения. Чтобы световой поток ламп не падал ниже определенной величины, действующим ГОСТ 32144 2013 установлено, допустимое отклонение напряжения в пределах  $\Delta U = \pm 10\%$ , т.е. 10% от номинального напряжения осветительной сети можно потерять до наиболее удаленного светильника от источника питания.

#### 4 Светотехнический расчет системы освещения

Стадия расчета электроосвещения очень важна при проектировании. Правильно спроектированная система освещения способствует более безопасной работе персонала, снижению утомляемости, более рациональному использованию электрической энергии и повышению производительности труда.

В данном проекте предусматривается:

- 1) Рабочее освещение
- 2) Аварийное освещение

Светотехнический расчет будем производить по методу использования светового потока. Основная формула определения количества светильников в помещении:

$$N = \frac{E_{\min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta}, \quad (1)$$

где  $E_{\min}$  - минимальная нормированная освещенность, лк;

$k$  – коэффициент запаса;

$S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$Z$  – коэффициент минимальной освещенности (коэффициент неравномерности освещения);

$N$  – число светильников;

$n$  – число ламп в светильнике;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Нормированную освещенность для помещений будем выбирать по [16]. Коэффициент запаса  $k$  учитывает запыленность помещения, снижение светового потока ламп в процессе эксплуатации. Так как данный объект относится к объектам с низкой запыленностью, а так же с отсутствием паров кислот и щелочей, значение коэффициента запаса примем равным 1,25. Коэффициент минимальной освещенности  $Z$  характеризует неравномерность

освещения. Он является функцией многих переменных, точное его определение затруднительно, но в наибольшей степени он зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте. При расположении светильников в линию (ряд), рекомендуется принимать  $Z = 1,1$  для светодиодных светильников. Для определения коэффициента использования светового потока  $\eta$  находят индекс помещения  $i$  и предполагаемые коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $r_{п}$ , стен  $r_{с}$ , пола  $r_{р}$ . Обычно для светлых торговых помещений  $r_{п}=70\%$ ,  $r_{с}=50\%$ ,  $r_{р}=30\%$ . Для производственных помещений с незначительными пылевыведениями  $r_{п}=50\%$ ,  $r_{с}=30\%$ ,  $r_{р}=10\%$ .

Индекс помещения определяется по следующему выражению:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (2)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $h$  - длина, ширина и расчетная высота (высота подвеса светильника над рабочей поверхностью) помещения, м.

Так как высота потолков во всем здании равномерна и помещение одноэтажное, примем высоту подвеса светильника – 3,0м.

Значения коэффициента использования светового потока приведены в таблице 2 [16].

Таблица 2 – Значения коэффициента  $\eta$

$i$	$r_{п}, \% 70$	50	30
	$r_{с}, \% 50$	30	10
1	$r_{р}, \% 30$	10	10
0,5	2	3	4
1,0	28	21	18
3,0	49	40	36
5,0	73	61	58
	80	67	65

Параметры для расчета количества светильников торгового центра «Волна» приведены в таблице 3 [16].



Таблица 3 – Расчетные параметры для определения количества светильников

Участок	$E_{\min}$	k	S, м <sup>2</sup>	Z	Φ <sub>л</sub> , лм	n, шт	i	η
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цокольный этаж			677,2					
Торговый зал	500	1,25	593,2	1,1	232788	79	8,05	45
Лестничная клетка	300	1,25	10,1	1,1	232788	2	8,05	45
Тепловой узел	300	1,25	10,8	1,1	232788	2	8,05	45
Служебное помещение	300	1,25	6,2	1,1	232788	2	8,05	45
Техническое помещение	300	1,25	14,6	1,1	232788	1	8,05	45
Электрощитовая	300	1,25	6,4	1,1	232788	2	8,05	45
Склад	150	1,25	35,9	1,1	232788	2	8,05	45
Первый этаж			656,4					
Торговый зал	500	1,25	605,9	1,1	232788	73	8,05	45
Лестничная клетка	300	1,25	22	1,1	232788	2	8,05	45
Служебное помещение	300	1,25	6	1,1	232788	3	8,05	45
Лестница	300	1,25	10,8	1,1	232788	5	8,05	45
Служебное помещение	300	1,25	1,2	1,1	232788	1	8,05	45
Тамбур	300	1,25	10,5	1,1	232788	5	8,05	45
Второй этаж			755,6					
Торговый зал	500	1,25	706,7	1,1	232788	86	8,05	45
Лестничная клетка	300	1,25	23,7	1,1	232788	1	8,05	45
Служебное помещение	300	1,25	9,4	1,1	232788	2	8,05	45
Санузел	300	1,25	1,6	1,1	232788	1	8,05	45
Санузел	300	1,25	1,8	1,1	232788	1	8,05	45
Кабинет	400	1,25	12,4	1,1	227727	2	8,05	45

Результаты светотехнического расчета системы рабочего освещения торгового центра «Волна» приведены в таблице 4

Таблица 4 – Данные по принятым лампам и светильникам

Участок	Кол-во светильников	Тип светильника	Мощность светильника
1	2	3	4
Цокольный этаж			
Торговый зал	79	LP-econom	P=40 Вт
Лестничная клетка	2	CD LED18	P=18 Вт
Тепловой узел	2	CD LED30	P=30 Вт
Служебное помещение	2	LP-econom	P=40 Вт
Техническое помещение	1	CD LED18	P=18 Вт
Электрощитовая	2	CD LED18	P=18 Вт
Склад	2	CD LED30	P=30 Вт
Первый этаж			
Торговый зал	73	LP-econom	P=40 Вт
Лестничная клетка	2	CD LED18	P=18 Вт
Служебное помещение	3	LP-econom	P=40 Вт
Лестница	3	LP-econom	P=40 Вт
	2	CD LED18	P=18 Вт
Служебное помещение	1	CD LED30	P=30 Вт
Тамбур	3	LP-econom	P=40 Вт
	2	CD LED18	P=18 Вт
Второй этаж			
Торговый зал	86	LP-econom	P=40 Вт
Лестничная клетка	1	CD LED18	P=18 Вт
Служебное помещение	2	LP-econom	P=40 Вт
Санузел	1	CD LED18	P=18 Вт
Санузел	1	CD LED18	P=18 Вт
Кабинет	2	LP-econom	P=40 Вт

## **5 Светотехнический расчет системы аварийного освещения**

Аварийное освещение предназначено для безопасного завершения работы во время внезапного отключения сети рабочего освещения. Системы аварийного освещения следует устанавливать в помещениях с постоянно работающими людьми, а также в помещениях, в которых одновременно может находиться более 100 человек. Подробный список помещений, в которых следует устраивать систему аварийного освещения, указан в СП 52.13330.2011. Минимальная освещенность должна составлять 5% нормы и не менее 2 Лк внутри зданий.

В торговом центре «Волна» система аварийного освещения расположена между, или параллельно основным светильникам. Для удовлетворения эстетических качеств светильники аварийного освещения выполняются такими же, как и светильники рабочего освещения в заданном помещении. Для достижения минимальных затрат светильники аварийного освещения использованы в составе системы рабочего освещения. При этом в нормальном режиме работы объекта освещение выполняется как системой рабочего, так и системой аварийного освещения. При переходе в аварийный режим и отключении системы рабочего освещения, в работе должны остаться только светильники системы аварийного освещения.

## 6 Электротехнический расчет системы освещения

Целью электротехнического расчета освещения является определение сечения кабеля, которым будет выполнена осветительная сеть, а также определение потери напряжения в осветительной сети.

Разобьем светильники на группы.

Таблица 5 – Нагрузка освещения, разбитая на группы

Щит освещения	Номер линии группы	Число светильников	Рсв, кВт	Ин, А
1	2	3	4	5
ЩО1	1-1	17	0,61	3,1
	1-2	22	0,76	3,8
	1-3	26	0,86	4,4
	1-4	14	0,4	2,1
	1-5	5	0,35	1,7
ЩО2	2-1	17	0,63	3,2
	2-2	22	0,68	3,5
	2-3	24	0,83	4,2
	2-4	12	0,36	1,8
	2-5	9	0,14	0,7
ЩО3	3-1	15	0,51	2,5
	3-2	22	0,65	3,3
	3-3	27	0,79	4,0
	3-4	30	0,94	4,7

Так как осветительные сети являются сетями с распределенной нагрузкой, то определение потерь напряжения и проверка сечения кабельных линий по допустимому отклонению напряжения выполняются методом моментов нагрузки.

Потери напряжения на каждом участке рассчитываются по формуле:

$$\Delta U = \frac{M}{K_c \cdot S} \quad (3)$$

где М – момент нагрузки;

$K_C$  – коэффициент, зависящий от конфигурации сети и материала проводника,  
 $K_C=72$  [16, табл.10.7];

$S$ - сечение проводника.

Момент нагрузки - это сумма произведений мощности отдельных нагрузок на длину кабеля их питающих.

Произведем расчет освещения в линии от ВРУ до самого удаленного щита освещения.

Момент нагрузки равен:

$$M = L \cdot P_{PO} \quad (4)$$

где  $L$  – расстояния от ЩО до ВРУ;

$P_{P.O.}$ - расчетная нагрузка освещения.

$$M = 10 \cdot 4,39 = 43,9 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Потери напряжения в кабеле питающем ЩО1:

$$\Delta U \geq 5\%$$

Распределение разводки осветительной сети по фазам выглядит следующим образом - рисунок 2.

Определяем моменты нагрузки:

$$M_P = P_L \cdot N_{L.P.} \cdot \left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) \quad (5)$$

где  $N_{L.P.}$  - число светильников в одном ряду;

$P_L$  - мощность одного светильника;

$L_1$  – длина участка линии от осветительного щитка до первого светильника;

$L_2$ - длина участка линии от осветительного щитка до последнего светильника.

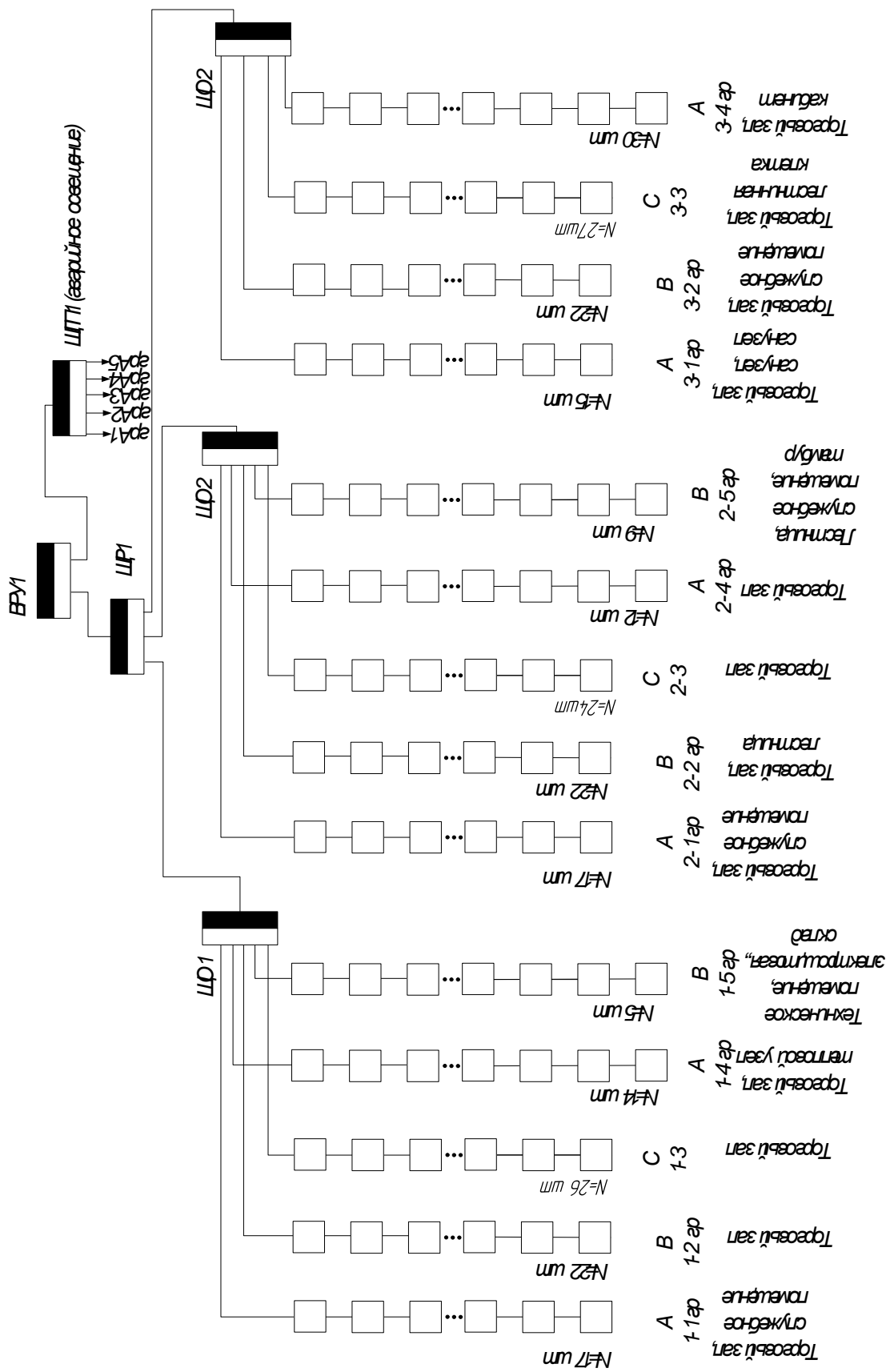


Рисунок 2 – Структура разводки осветительной сети

Проверка отклонения напряжения удовлетворяет требованиям ГОСТ 32144-2013 если:

$$\Delta U_{ВРУ-ЩО} + \Delta U_{ГР} < \Delta U_{доп.пр.} \quad (6)$$

где  $\Delta U_{доп.пр.} = 5\%$  - предельно допустимые потери напряжения в групповой осветительной сети.

Определяем суммарные моменты нагрузки:

$$M_{ГР1} = M_{P1} + M_{P6} \quad (7)$$

Определяем моменты нагрузки для фазы А:

$$M_{P1-2} = 0,04 \cdot 18 \cdot \left(6 + \frac{77}{2}\right) = 32$$

$$M_{P1-11} = 0,04 \cdot 13 \cdot \left(12 + \frac{71}{2}\right) = 24,7$$

$$M_{ГР1} = 32 + 24,7 = 56,7$$

$$\Delta U = 5\%$$

Определяем моменты нагрузки для фазы В:

$$M_{P1-3} = 0,04 \cdot 17 \cdot \left(8 + \frac{76}{2}\right) = 31,3$$

$$M_{P1-10} = 0,04 \cdot 6 \cdot \left(10 + \frac{73}{2}\right) = 11,2$$

$$M_{ГР1} = 31,3 + 11,2 = 42,4$$

$$\Delta U = 5\%$$

Определяем моменты нагрузки для фазы С:

$$M_{P1-5} = 0,04 \cdot 8 \cdot \left(8 + \frac{69}{2}\right) = 13,6; \quad M_{P1-8} = 0,04 \cdot 20 \cdot \left(9 + \frac{72}{2}\right) = 36$$

$$M_{ГР1} = 13,6 + 36 = 49,6; \quad \Delta U = \frac{49,6}{72 \cdot 1,5} = 0,46\%$$

Выбираем кабель сечением 1,5 мм<sup>2</sup>, который удовлетворяет требованиям ГОСТ 32.144-2013.

План расположения элементов системы освещения с разводкой осветительной сети представлен на листе №1 графической части выпускной квалификационной работы.

## **7 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок силовых пунктов**

Вся силовая нагрузка распределена между двумя шкафами распределительными ШР1 и ШР2. Распределительные шкафы размещены на 1 этаже.

От ШР1 марки ПР-8-РУ-3204 запитана (силовая и осветительная) нагрузка, распределенная между тремя щитами ЩО1, ЩО2, ЩО3.

От ЩО1 запитана осветительная сеть: гр 1-1, гр 1-2, гр 1-3, гр 1-4, гр 1-5 и силовая сеть (розеточные группы): гр1-6р, гр 1-7р, гр 1-8р, гр 1-9р, гр 1-10р, гр 1-11р.

От ЩО2 запитана осветительная сеть: гр 2-1, гр 2-2, гр 2-3, гр 2-4, гр 2-5 и силовая сеть (розеточные группы): гр2-6р, гр 2-7р, гр 2-8р, гр 2-9р, гр 2-10р.

От ЩО3 запитана осветительная сеть: гр 3-1, гр 3-2, гр 3-3, гр 3-4 и силовая сеть (розеточные группы): гр 3-5 рукосушитель - 1кВт, гр3-6р, гр 3-7р, гр 3-8р, гр 3-9р, гр 3-10р, гр 3-11р, гр 3-12р, гр 3-13р.

От ШР2 марки ПР-8-РУ-3204 запитаны Тепловые завесы мощностью 18 кВт.

Определения нагрузки создаваемой группой электроприемников присоединенных к силовому щиту, производится для выбора сечения линии, питающей эту группу и коммутационно защитной аппаратуры. Расчет мощности электроприемников на силовом щите осуществляется по формуле:

$$P_{\text{рас}} = K_c \cdot P_{\Sigma \text{уст}} \quad (8)$$

где:  $K_c$  определяется по [таб.6.9, СП]

ШР1-ЩО1:

Розеточная сеть гр1-6р:

$P_{1-6}=2,0$  кВт ;  $K_c=0,8$ ;  $\cos\varphi =0,85$ ;  $U=220$  В.



Розеточная сеть гр1-7р

$$P_{1-7}=2,0 \text{ кВт} ; K_c=0,8; \cos\varphi =0,85; U=220 \text{ В.}$$

Розеточная сеть гр1-8р

$$P_{1-8}=2,0 \text{ кВт} ; K_c=0,8; \cos\varphi =0,85; U=220 \text{ В.}$$

Розеточная сеть гр1-9р

$$P_{1-9}=1,8 \text{ кВт} ; K_c=0,8; \cos\varphi =0,85; U=220 \text{ В.}$$

Розеточная сеть гр1-10р

$$P_{1-10}=1,8 \text{ кВт} ; K_c=0,8; \cos\varphi =0,85; U=220 \text{ В.}$$

Розеточная сеть гр1-11р

$$P_{1-11}=2,2 \text{ кВт} ; K_c=0,8; \cos\varphi =0,85; U=220 \text{ В.}$$

Определим суммарную мощность электроприёмников :

$$P_{\text{сумм}} = P_{\text{ЩС.}} + P_{\text{ЩО}}, \text{ кВт} \quad (9)$$

$$P_{\text{сумм}} = 2+2+2+1,8+1,8+2,2+0,61+0,76+0,86+0,4+0,35+0,27=15,05 \text{ кВт}$$

Определим расчетную мощность:

$$P_{\text{рас}} = 0,8 \cdot 15,05 = 12,04 \text{ кВт}$$

Определим полную расчетную мощность:

$$S_{\text{рас}} = P_{\text{рас}} / \cos\varphi, \text{ ВА} \quad (10)$$

$$S_{\text{рас}} = 12,04 / 0,85 = 14,2 \text{ кВА}$$

Определим расчетный ток:

$$I_{\text{рас}} = S_{\text{рас}} / U, \text{ А} \quad (11)$$

$$I_{\text{рас}} = 14,2 / 220 = 64,4 \text{ А}$$

Дальнейшие расчеты по ШР1 представлены в таблице 5 работы

ШР2:

Тепловая завеса 1:  $P_1=9$  кВт ;  $K_c=0,99$ ;  $\cos\varphi =0,85$ ;  $U=220$  В.

Тепловая завеса 2:  $P_2=9$  кВт ;  $K_c=0,99$ ;  $\cos\varphi =0,85$ ;  $U=220$  В.

Определим суммарную мощность электроприёмников:

$$P_{\text{сумм}} = P_{\text{ТЗ1}} + P_{\text{ТЗ2}}, \text{ кВт} \quad (12)$$

$$P_{\text{сумм}} = 9+9=18 \text{ кВт}$$

Определим расчетную мощность:

$$P_{\text{рас}} = 0,99 \cdot 18 = 18 \text{ кВт}$$

Определим полную расчетную мощность:

$$S_{\text{рас}} = P_{\text{рас}} / \cos\varphi, \text{ ВА} \quad (13)$$

$$S_{\text{рас}} = 18 / 0,85 = 21,2 \text{ кВА}$$

Определим расчетный ток:

$$I_{\text{рас}} = S_{\text{рас}} / U, \text{ А} \quad (14)$$

$$I_{\text{рас}} = 21,2 / 220 = 96,4 \text{ А}$$

Полученные результаты расчетов сведем в таблицу 6

Таблица 6– Расчет нагрузок силовых пунктов

№ п/п,	Наименование ЭП	количество ЭП n, шт	Мощность ЭП, P,Вт	Kс	P расч, Вт	S расч, ВА	Ip , А
1	2	3	4	5	6	7	8
	ЩР-1						
	ЩО-1						
	линия 1-6р	Розеточная сеть					
1	Компьютер	1	400				
2	Принтер	1	300				
3	Кондиционер	2	1000				
4	Чайник	1	300				
	итого :	5	2000	0,8	1600	1882	8,6
	линия 1-7р	Розеточная сеть					
1	Морозилка	2	700				
2	Слайсер	1	300				
3	Кондиционер	1	1000				
	итого :	4	2000	0,8	1600	1882	8,6
	линия 1-8р	Розеточная сеть					
1	Термоупаковщик	1	500				
2	Горячий стол	1	300				
3	Чайник	1	1200				
	итого :	3	2000	0,8	1600	1882	8,6
	линия 1-9р	Розеточная сеть					
1	Холодильник	1	500				
2	Холодильник	1	300				
3	Кондиционер	1	1000				
	итого:	3	1800	0,8	1440	1694	7,7
	линия 1-10р	Розеточная сеть					
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	СВЧ	1	1000				
	итого :	3	1800	0,8	1440	1694	7,7
	линия 1-11р	Розеточная сеть					
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	Кондиционер	1	1400				
	итого:	3	2200	0,8	1760	2071	9,4
	итого по ЩО-1	21	11800				
	ЩО-2						
	линия 2-6р	Розеточная сеть					

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Компьютер	2	300				
2	Принтер	1	200				
3	Кондиционер	2	1000				
4	Чайник	1	300				
	итого :	6	1800	0,8	1440	1694	7,7
линия 2-7р	Розеточная сеть						
1	Термоупаковщик	1	300				
2	Слайсер	1	200				
3	Кондиционер	1	1000				
	итого :	3	1500	0,8	1200	1412	6,4
линия 2-8р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	2	500				
2	Принтер	1	300				
3	Чайник	1	1200				
	итого :	4	2000	0,8	1600	1882	8,6
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	Чайник	1	1200				
	итого:	3	2000	0,8	1600	1882	8,6
линия 2-10р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	Чайник	1	1200				
	итого :	3	2000	0,8	1600	1882	8,6
	итого по ЩО-2	19	9300				
ЩО-3							
линия3-5							
1	Рукосушитель	1	1000				
	итого :	1	1000	0,8	800	941	4,3
линия3-6р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	200				
2	Принтер	1	200				
3	Кондиционер	2	800				
4	Чайник	1	300				
	итого :	5	1500	0,8	1200	1412	6,4
линия 3-7р	Розеточная сеть						
1	Морозилка	2	200				
2	Слайсер	1	200				
3	Термоупаковщик	1	200				
4	Морозилка	2	200				

## Окончание таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Слайсер	1	200				
6	Кондиционер	1	500				
	итого :	8	1500	0,8	1200	1412	6,4
линия 3-8р	Розеточная сеть						
1	Кондиционер	1	800				
2	Чайник	1	1200				
	итого :	2	2000	0,8	1600	1882	8,6
линия 3-9р	Розеточная сеть						
1	Холодильник	1	300				
2	Холодильник	1	300				
3	Кондиционер	1	900				
	итого:	3	1500	0,8	1200	1412	6,4
линия 3-10р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	СВЧ	2	1400				
	итого :	4	2200	0,8	1760	2071	9,4
линия 3-11р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	Кондиционер	1	1200				
	итого:	3	2000	0,8	1600	1882	8,6
линия 3-12р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	300				
2	Принтер	1	200				
3	СВЧ	2	1000				
	итого :	4	1500	0,8	1200	1412	6,4
линия 3-13р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	500				
2	Принтер	1	300				
3	Кондиционер	1	1400				
	итого:	3	2200	0,8	1760	2071	9,4
	итого по ЦО-3	33	15400				
	итого по ШР1	73	36500				
ШР2							
1	Тепловая завеса	1	9000				
2	Тепловая завеса	1	9000				
	итого по ШР2	2	18000				

## 8 Распределение несимметричной электрической нагрузки по фазам

Симметричная трехфазная система напряжений характеризуется одинаковыми по модулю и фазе напряжениями во всех трех фазах. При несимметричных режимах напряжения в разных фазах не равны.

Несимметричные режимы в электрических сетях возникают по следующим причинам:

- 1) неодинаковые нагрузки в различных фазах,
- 2) неполнофазная работа линий или других элементов в сети,
- 3) различные параметры линий в разных фазах.

Наиболее часто несимметрия напряжений возникает из-за неравенства нагрузок фаз. Поскольку основной причиной несимметрии напряжения является различие по фазам (несимметричная нагрузка), то это явление наиболее характерно для низковольтных электрических сетей 0,4 кВ.

В таблице 7 представлена несимметрия токов фаз. На рисунке 2 показано какие линии щита на какую фазу запитаны.

Таблица 7 – Несимметрия токов фаз

Группа	Фаза	Мощность P, кВт	Несимметрия токов фаз
1	2	3	4
ШР1-ЩО1	А	11,8	12,5
ШР1-ЩО2	В	9,3	9,4
ШР1-ЩО3	С	15,4	13,0
ШР2	А	9	3,2
ШР2	В	9	3,2

## 9 Расчет нагрузки главного распределительного устройства объекта

Суммарная мощность здания:

$$P_{\text{супермаркета}} = P_{\text{торговый зал}} + P_{\text{подсобные помещения}}, \text{ кВт} \quad (15)$$

$$P_{\text{торговый зал(1)}} = K \cdot (P_{\text{роз.}} + P_{\text{осв.}}), \text{ кВт} \quad (16)$$

$$P_{\text{подсобные помещения(2)}} = K \cdot (P_{\text{роз.}} + P_{\text{осв.}}), \text{ кВт} \quad (17)$$

$K$ - коэффициент максимума использования;

$P_{\text{роз.}}$ - мощности розеточной группы;

$P_{\text{осв.}}$ - мощность осветительной нагрузки ;

Расчет осветительной нагрузки:

$$P_{\text{осв.нагр}} = P_{\text{освет.}} \cdot K_c \quad (18)$$

$P_{\text{освет.}}$  – суммарная мощность осветительной нагрузки;

$K_c$  – расчетный коэффициент спроса.

$$P_{\text{осв.нагр(1)}} = (0,61 + 0,76 + 0,86 + 0,4 + 0,35 + 0,27) \cdot 0,8 = 2,6 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{осв.нагр(2)}} = (0,63 + 0,68 + 0,83 + 0,36 + 0,14) \cdot 0,8 = 2,1 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{осв.нагр(3)}} = (0,51 + 0,65 + 0,79 + 0,94) \cdot 0,8 = 2,3 \text{ кВт}$$

Расчет мощности розеточной группы :

$$P_{\text{роз.гр}} = P_{\text{уд.р.}} \cdot n \cdot K_c \text{ кВт} \quad (19)$$

$P_{\text{уд.р.}}$  - установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт

$n$  – число розеток.

$$P_{\text{роз.гр(1)}} = 0,06 \cdot 21 \cdot 0,8 = 1,01 \text{ кВт}$$

$$P_{роз.зр(2)} = 0,06 \cdot 19 \cdot 0,6 = 0,68 \text{ кВт}$$

$$P_{роз.зр(2)} = 0,06 \cdot 33 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ кВт}$$

Определение электрической нагрузки ЭП в целом по торговому центру:

$$P_{магазина} = 2,6 + 2,1 + 2,3 + 1,01 + 0,68 + 1,2 = 9,89 \text{ кВт}$$

Торговый центр «Волна» по характеру помещения окружающей среды относится к классу нормальной средой, характеристика помещения сухое, в котором отсутствуют признаки, свойственные жарким, пыльным помещениям и помещениям с химически активной средой.

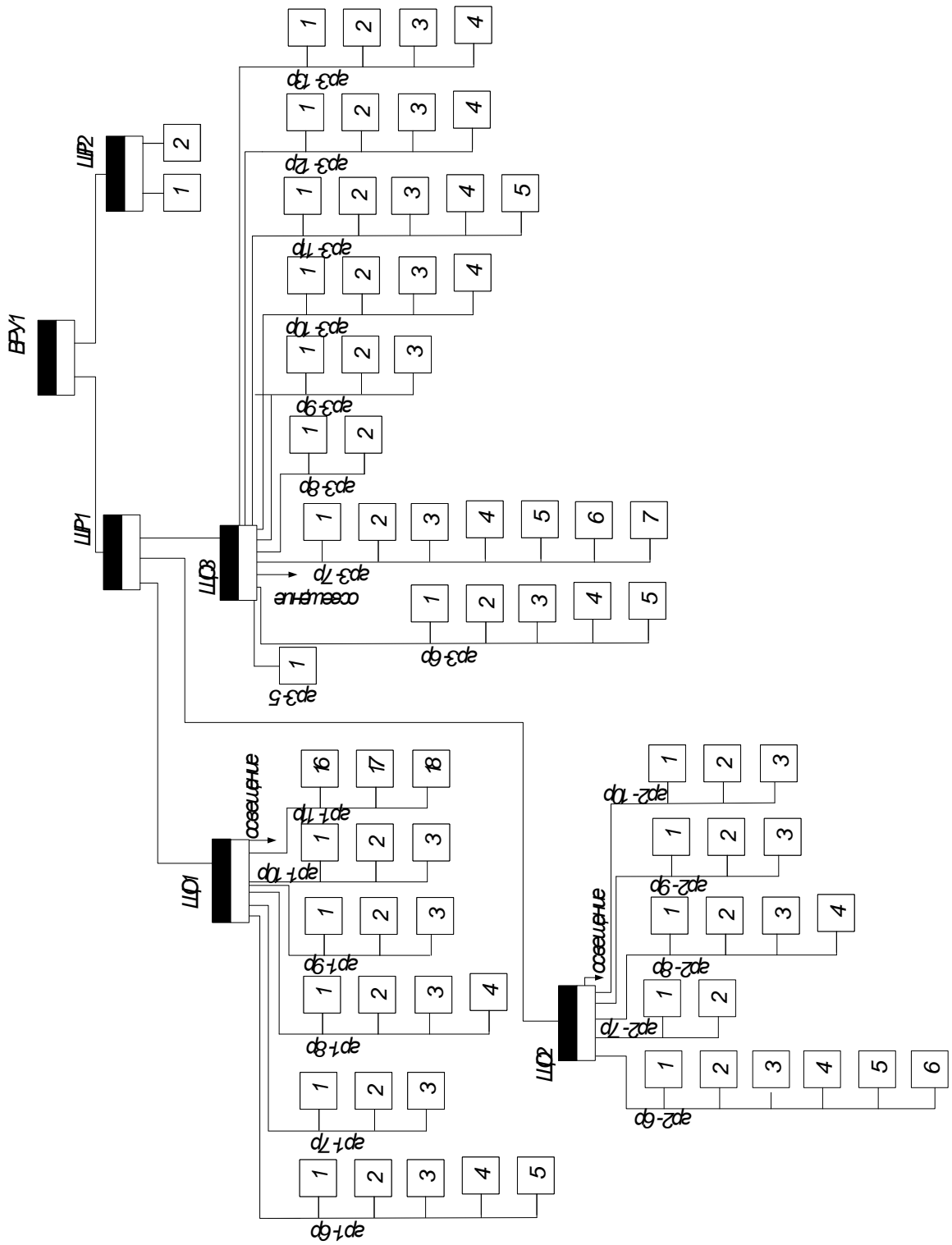
Характерной особенностью силовых сетей общественных зданий является их большая протяженность и наличие большого количества коммутационно-защитной аппаратуры. Проектируемая схема электроснабжения выполнена на рисунке 3.

где ШР1– распределительное устройство ПР-8-РУ-3204;

ШР2– распределительное устройство ПР-8-РУ-3202;

От ШР1 запитаны ЩО1, ЩО2, ЩО3 (осветительная и силовая нагрузка).





Электроприемники приведены в таблице 6.

Рисунок 3 – Структура распределения электроэнергии по торговому центру «Волна»

## 10 Проектирование сети внутреннего электроснабжения

Расчетную нагрузку, создаваемую одним приемников электроэнергии принимают равной номинальной мощности приемника. По этой нагрузке выбираем сечение питающего кабеля и коммутационно защитную аппаратуру.

Расчет первого уровня электроснабжения:

Рукошувитель:  $P_2=1000$  Вт ;  $\cos\varphi=0,85$ ;  $U=220$  В;  $K_{п}=3$ .

Определим полную мощность электроприемника:

$$S=P/\cos\varphi, \text{ кВА} \quad (20)$$

$$S=1/0,85=1,18 \text{ кВА}$$

Определим расчетный ток электроприемника:

$$I=S/U, \text{ А} \quad (21)$$

$$I=1,18/220 \cdot 1000=5,3 \text{ А}$$

Определим ток пусковой:

$$I_{\text{пуск}}=I \cdot K_{п}, \text{ А} \quad (22)$$

где  $K_{п}$  – кратность пускового тока

$$I_{\text{пуск}}=5,3 \cdot 3=15,9 \text{ А}$$

Аналогичные расчеты производим и для остальных электроприемников, полученные результаты расчетов сведем в таблицу 8

Таблица 8 – Расчет первого уровня электроснабжения

№ п/п, марка групп	Наименование ЭП	количество ЭП п, шт	Мощность ЭП, Р,Вт	Класс U,В	cosφ	S расч, ВА	Ip , А	Ипуск , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ЩР-1							
	ЩО-1							
	линия1-бр	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	400	220	0,85	471	2,1	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Кондиционер	2	1000	220	0,85	1176	5,3	
4	Чайник	1	300	220	0,85	353	1,6	4,8
	линия 1-7р	Розеточная сеть						
1	Морозилка	2	700	220	0,85	824	3,7	11,2
2	Слайсер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Кондиционер	1	1000	220	0,85	1176	5,3	16,0
	линия 1-8р	Розеточная сеть						
1	Термоупаковщик	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Горячий стол	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Чайник	1	1200	220	0,85	1412	6,4	
	линия 1-9р	Розеточная сеть						
1	Холодильник	1	500	220	0,85	588	2,7	8,0
2	Холодильник	1	300	220	0,85	353	1,6	4,8
3	Кондиционер	1	1000	220	0,85	1176	5,3	16,0
	линия 1-10р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	СВЧ	1	1000	220	0,85	1176	5,3	
	линия 1-11р	Розеточная сеть						
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Кондиционер	1	1400	220	0,85	1647	7,5	22,5
	ЩО-2							
	линия2-бр	Розеточная сеть						
1	Компьютер	2	300	220	0,85	353	1,6	
2	Принтер	1	200	220	0,85	235	1,1	
3	Кондиционер	2	1000	220	0,85	1176	5,3	16,0
4	Чайник	1	300	220	0,85	353	1,6	
	линия 2-7р	Розеточная сеть						
1	Термоупокавщик	1	300	220	0,85	353	1,6	
2	Слайсер	1	200	220	0,85	235	1,1	
3	Кондиционер	1	1000	220	0,85	1176	5,3	16,0
	линия 2-8р	Розеточная сеть						

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Компьютер	2	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Чайник	1	1200	220	0,85	1412	6,4	
линия 2-9р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Чайник	1	1200	220	0,85	1412	6,4	
линия 2-10р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Чайник	1	1200	220	0,85	1412	6,4	
ЩО-3								
линия 3-5								
1	Рукосушитель	1	1000	220	0,85	1176	5,3	
линия 3-6р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	200	220	0,85	235	1,1	
2	Принтер	1	200	220	0,85	235	1,1	
3	Кондиционер	2	800	220	0,85	941	4,3	12,8
4	Чайник	1	300	220	0,85	353	1,6	
линия 3-7р	Розеточная сеть							
1	Морозилка	2	200	220	0,85	235	1,1	3,2
2	Слайсер	1	200	220	0,85	235	1,1	
3	Термоупаковщик	1	200	220	0,85	235	1,1	
4	Морозилка	2	200	220	0,85	235	1,1	3,2
5	Слайсер	1	200	220	0,85	235	1,1	
6	Кондиционер	1	500	220	0,85	588	2,7	8,0
линия 3-8р	Розеточная сеть							
1	Кондиционер	1	800	220	0,85	941	4,3	12,8
2	Чайник	1	1200	220	0,85	1412	6,4	
линия 3-9р	Розеточная сеть							
1	Холодильник	1	300	220	0,85	353	1,6	4,8
2	Холодильник	1	300	220	0,85	353	1,6	4,8
3	Кондиционер	1	900	220	0,85	1059	4,8	14,4
линия 3-10р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	СВЧ	2	1400	220	0,85	1647	7,5	
линия 3-11р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Кондиционер	1	1200	220	0,85	1412	6,4	19,3
линия 3-12р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	300	220	0,85	353	1,6	
2	Принтер	1	200	220	0,85	235	1,1	
3	СВЧ	2	1000	220	0,85	1176	5,3	
линия 3-13р	Розеточная сеть							
1	Компьютер	1	500	220	0,85	588	2,7	
2	Принтер	1	300	220	0,85	353	1,6	
3	Кондиционер	1	1400	220	0,85	1647	7,5	22,5
ШР2								
1	Тепловая завеса	1	9000	220	0,85	10588	13,9	
2	Тепловая завеса	1	9000	220	0,85	10588	13,9	

План расположения силовых электроприемников с нанесенной разводкой электрической сети представлен на листе №2 графической части.

## 11 Выбор коммутационных аппаратов

Выбор автоматических выключателей производим по условию:

а) по номинальному току:

$$I_{\text{ср.рас.}} \geq I_p \quad (23)$$

где  $I_{\text{ср.рас.}}$  – номинальный ток автомата, А.

б) по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{ном.т.в.}} \geq K_n \cdot I_p \quad (24)$$

где  $I_{\text{ном.т.в.}}$  – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А;

$K_n = 1,1$  – коэффициент надежности.

в) по условию защиты автомата защищаемая линия, должна быть согласована по условию:

$$I_{\text{ср.рас.}} \geq I_3 \cdot \quad (25)$$

$$I_{\text{ср.рас.}} \leq (K_{\text{ус.прок.}} \cdot I_{\text{доп}}) / K_{\text{защ}} \quad (26)$$

где  $K_{\text{ус.прок}}$  - прокладочный коэффициент на условия прокладки кабеля [7, УП];  $I_{\text{доп}}$  - длительный ток кабеля, А;

$K_{\text{защ}}$  – коэффициент защиты, который равен 1, представляющий собой отношения длительного тока для провода или кабеля к параметру защитного устройства, [1, таб.7.6];

$I_3$  - ток срабатывания автомата.

Выбор вводных автоматов на пункт распределительный сведем в таблицу 9.

Таблица 9 - Выбор вводных автоматов на пункт распределительный

№	$I_p$ , А	Сечение кабеля	$I_{ном.}$ , А	$K_{ус.прок}$	$K_{защ}$	$I_{доп}$ , А	$I_{ср.рас.}$	Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А
1	2	3	4	5	6	4	7	8	9
ВРУ	97,7	АВБбШв 4x240	107,5	0,95	1	369	350,6	ВА 57-35	125
ШР1	64	АВВГ 4x95+1x16	70,4	0,95	1	204	193,8	ВА 47-100	100
ЩО1	21,5	ВВГ5x10	23,7	0,95	1	50	47,5	ВА 47-63	63
ЩО2	16,4	ВВГ5x10	18,0	0,95	1	50	47,5	ВА 47-29	63
ЩО3	26,2	ВВГ5x10	28,8	0,95	1	50	47,5	ВА 47-29	63
ШР2	27,9	ВВГ 5x10	30,7	0,95	1	50	47,5	ВА 47-63	63
ЩГП1	2,7	ВВГ 5x4	3,0	0,95	1	29	27,6	ВА 47-29	25

Выбор автоматов защиты отходящих линий сведен в таблицу 10

На рисунке 4 представлена схема электрическая принципиальная ВРУ1.

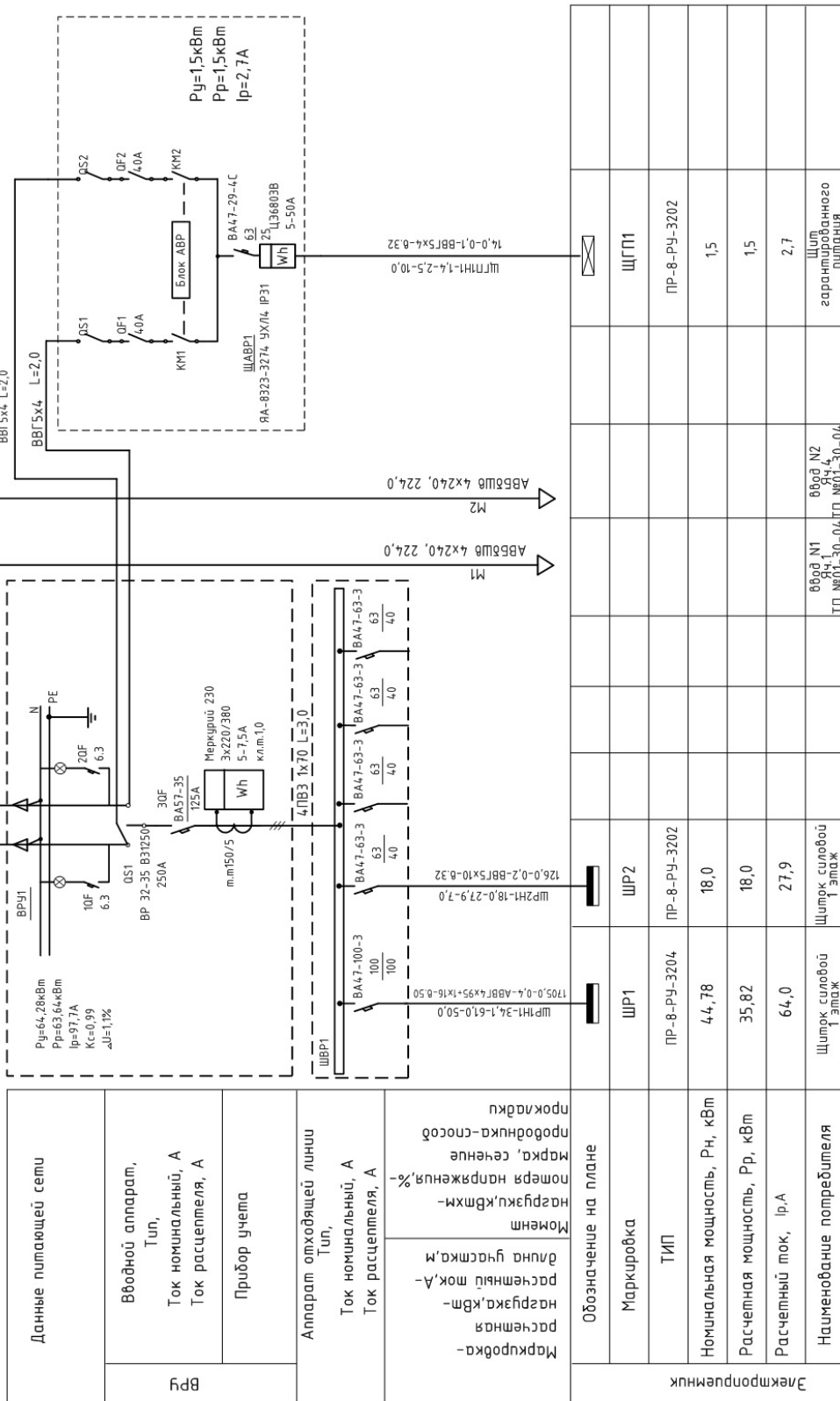


Рисунок 4 - ВРУ1 схема электрическая принципиальная



Таблица 10 – Выбор автоматов защиты отходящих линий

№	$I_p, A$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$K_{ус.прок}$	$K_{защ}$	$I_{ср.рас.}$	Тип автомата	Номинальный ток выключателя	Отключающая способность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЩР-1, ЩО-1									
линия 1-1	3,1	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 1-2	3,8	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия1-3	4,4	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия1-4	2,1	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 1-5	1,7	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия1-6р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 1-7р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 1-8р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 1-9р	7,7	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 1-10р	7,7	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 1-11р	9,4	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	ВА 47-63-1В	25	4500
ЩО-2									
линия 2-1	3,2	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 2-2	3,5	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 2-3	4,2	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 2-4	1,8	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 2-5	0,7	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия2-6р	7,7	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 2-7р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 2-8р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 2-9р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 2-10р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
ЩО-3									
линия 3-1	3,2	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 3-2	3,5	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 3-3	4,2	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия 3-4	1,8	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия3-5	4,3	ВВГ 3x1,5	10	0,95	1	9,5	ВА 47-63-1В	10	2500
линия3-6р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 3-7р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 3-8р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
линия 3-9р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	0,95	1	24,7	АД-2, 30мА	25	4500
ЩР2									
1	13,9	ВВГ 5x2,5	26	0,95	1	24,7	ВА 47-63-3 С	25	4500
2	13,9	ВВГ 5x2,5	26	0,95	1	24,7	ВА 47-63-3 С	25	4500

## 12 Выбор кабельно-проводниковой продукции

Сечения кабельных линий выбраны по условию максимально допустимого нагрева, вызванного длительного максимального тока.

Выбор сечений кабельной линии, питающей силовые щиты сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Выбор сечений проводов и кабельных линий

№	$I_p$ , А	Марка кабеля	$I_{доп}$ , А	$r_{уд.кл.}$ , Ом/км	$X_{уд.кл.}$ , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ВРУ	97,7	АВБбШв 4х240	369	0,130	0,0587
ЩР1	64	АВВГ 4х95+1х16	204	0,329	0,0602
ЩО1	21,5	ВВГ 5х10	50	3,12	0,073
ЩО2	16,4	ВВГ 5х10	50	3,12	0,073
ЩО3	26,2	ВВГ 5х10	50	3,12	0,073
ЩР2	27,9	ВВГ 5х10	50	3,12	0,073
ЩГП1	2,7	ВВГ 5х4	29	7,81	0,095

Выбор сечений кабельных линий, отходящих от щитков, кабельных линий, питающих отдельные потребители сведем в таблицу 12

Таблица 12 – Выбор сечений проводов и кабельных линий

№	$I_p$ , А	Марка кабеля	$I_{доп}$ , А	$r_{уд.кл.}$ , Ом/км	$X_{уд.кл.}$ , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ЩР-1, ЩО-1					
линия 1-1	3,1	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 1-2	3,8	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 1-3	4,4	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 1-4	2,1	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 1-5	1,7	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 1-6р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 1-7р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 1-8р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104

## Окончание таблицы 12

1	2	3	4	5	6
линия 1-9р	7,7	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 1-10р	7,7	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 1-11р	9,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
ЩО-2					
линия 2-1	3,2	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 2-2	3,5	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 2-3	4,2	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 2-4	1,8	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 2-5	0,7	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 2-6р	7,7	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 2-7р	6,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 2-8р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 2-9р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 2-10р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
ЩО-3					
линия 3-1	3,2	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 3-2	3,5	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 3-3	4,2	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 3-4	1,8	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 3-5	4,3	ВВГ 3х1,5	10	13,5	0,101
линия 3-6р	6,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-7р	6,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-8р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-9р	6,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-10р	9,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-11р	8,6	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-12р	6,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
линия 3-13р	9,4	ВВГ 3х2,5	26	12,5	0,104
ШР2					
1	13,9	ВВГ 5х2,5	26	12,5	0,104
2	13,9	ВВГ 5х2,5	26	12,5	0,104

### 13 Выбор прочих электрических устройств

#### Выбор распределительных пунктов

Распределительные пункты выбираем исходя из количества присоединений и рабочего тока самого пункта [1,стр.187].

Таблица 13 – Выбор распределительных пунктов

№	$I_p, A$	Тип РП	Число отходящих линий
1	2	3	4
ШР1	64,0	ПР-8-РУ-3204	6
ЩО1	21,5	ПР-8-РУ-3207	12
ЩО2	16,4	ПР-8-РУ-3207	12
ЩО3	26,2	ПР-8-РУ-3207	14
ШР2	27,9	ПР-8-РУ-3202	5
ЩГП1 (щит гарантированного питания)	2,7	ПР-8-РУ-3202	8

## 14 Проверка по допустимым потерям напряжения

После того как произвели выбор сечения кабеля по длительно допустимому току, нужно проверить кабель на допустимые потери напряжения. Отклонение напряжения присоединенных к сети токоприемников не должно выходить за пределы допустимого по ГОСТ 32144-2013.

По длине линии присоединено несколько (n) нагрузок:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \sum_0^n I_{расч.} \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), B \quad (27)$$

где  $I_{расч.}$  – расчетный ток, А;

$L$  – длина участка, км;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности;

$r_0$  и  $x_0$  - значения активных и реактивных сопротивлений определяем по таблице 2.5 [8].

Результаты расчетов сведем в таблицу 14

Таблица 14 – Проверка по допустимым потерям напряжения

№	$I_p, A$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$\Gamma_{уд.кл.}, Ом/км$	$X_{уд.кл.}, Ом/км$	cos	sin	L, км	Потери, В	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЩР-1										
ЩО-1										
линия 1-1	3,1	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	18,0	1,1	0,507
линия 1-2	3,8	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	19,5	1,5	0,673
линия 1-3	4,4	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	27,0	2,4	1,079
линия 1-4	2,1	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	22,5	0,9	0,429
линия 1-5	1,7	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	39,0	1,3	0,602
линия 1-6р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	18,0	2,8	1,295
линия 1-7р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	16,0	2,5	1,151
линия 1-8р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	16,0	2,5	1,151

Окончание таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
линия 1-9р	7,7	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	18,0	2,6	1,166
линия 1-10р	7,7	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	15,0	2,1	0,971
линия 1-11р	9,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	11,0	1,9	0,871
ЩО-2										
линия 2-1	3,2	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	18,0	1,2	0,523
линия 2-2	3,5	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	19,0	1,3	0,604
линия 2-3	4,2	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	25,0	2,1	0,953
линия 2-4	1,8	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	22,5	0,8	0,368
линия 2-5	0,7	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	39,0	0,5	0,248
линия2-6р	7,7	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	19,5	2,8	1,263
линия 2-7р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	25,5	3,0	1,376
линия 2-8р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	13,5	2,1	0,971
линия 2-9р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	18,0	2,8	1,295
линия 2-10р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	18,0	2,8	1,295
ЩО-3										
линия 3-1	3,2	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	18,0	1,2	0,523
линия 3-2	3,5	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	25,0	1,7	0,794
линия 3-3	4,2	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	22,0	1,8	0,839
линия 3-4	1,8	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	25,0	0,9	0,409
линия3-5	4,3	ВВГ 3x1,5	10	13,5	0,101	0,85	0,55	10,0	0,9	0,388
линия3-6р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	28,0	3,3	1,511
линия 3-7р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	27,0	3,2	1,457
линия 3-8р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	12,0	1,9	0,864
линия 3-9р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	19,0	2,3	1,025
линия 3-10р	9,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	12,0	2,1	0,950
линия 3-11р	8,6	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	18,0	2,8	1,295
линия 3-12р	6,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	20,0	2,4	1,079
линия 3-13р	9,4	ВВГ 3x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	13,0	2,3	1,029
ШР2										
1	13,9	ВВГ 5x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	5,0	1,3	0,585
2	13,9	ВВГ 5x2,5	26	12,5	0,104	0,85	0,55	8,0	2,1	0,935

## 15 Расчет токов КЗ

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение в сети или в элементах электрооборудования короткого замыкания, вследствие повреждения изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала. Для снижения ущерба, обусловленного выходом из строя электрооборудования при протекании токов КЗ, а также для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения необходимо правильно определять токи КЗ и по ним выбирать электрооборудование, защитную аппаратуру (или же проверить уже выбранную на стойкость к току КЗ).

Расчет токов КЗ в сетях до 1000В в ВРУ выполняются в именованных единицах.

Определение токов КЗ начинается с составления схемы замещения – рисунок 5.

Составим схему замещения для ВРУ :

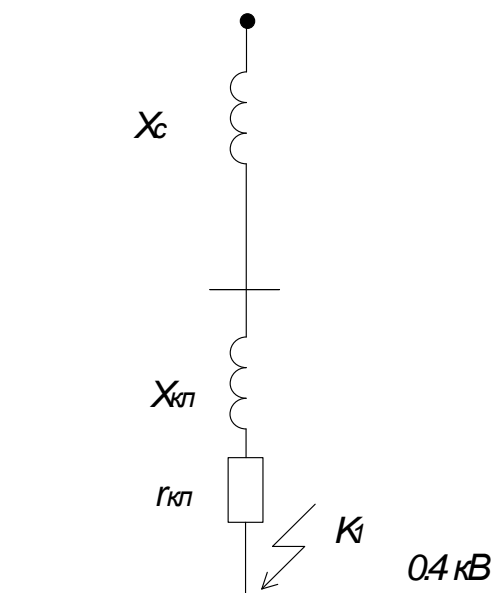


Рисунок 5 – Схема замещения сети

На шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции ток короткого замыкания равен 6,4 кА. Тогда сопротивления внешней сети включающей в себя результирующее сопротивление сети 10 кВ сопротивления трансформатора определим по формуле:

$$X_{BH} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.нн}} \quad (28)$$

где  $U_n$  - среднее номинальное напряжения 400 В.

$I_{к.з.нн}$  - ток короткого замыкания на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции.

$$X_{BH} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,4} = 36,1$$

Для кабеля ВВГ 4х240 протяженностью  $L_{кл1}=224$ м по справочным данным были определены удельные активное и реактивное сопротивления:

Активное сопротивление :  $R_{уд.кл1} = 0,130$  Ом/км

Реактивное сопротивление:  $X_{уд.кл1} = 0,0587$  Ом/км

$$R_{л1} = R_{уд.кл1} \cdot L_{кл1} , \text{ мОм} \quad (29)$$

$$R_{л1} = 0,13 \cdot 224 = 29,1 \text{ мОм}$$

$$X_{л1} = X_{уд.кл1} \cdot L_{кл1} , \text{ мОм} \quad (30)$$

$$X_{л1} = 0,0587 \cdot 224 = 13,1 \text{ мОм}$$

Рассчитаем сопротивление и ток к.з. в точке  $K_1$  на вводе низкого напряжения ВРУ:

$$X_{\Sigma} = X_{л1} + X_{BH} , \text{ мОм} \quad (31)$$



$$X_{\Sigma} = 13,1 + 36,1 = 49,2 \text{ мОм}$$

Суммарное активное сопротивление должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этой цели в расчет вводят добавочное сопротивление, которое равно 15 мОм.

$$R_{\Sigma} = R_{\text{доб}} + R_{\text{л1}} + R_{\text{п}}, \text{ мОм} \quad (32)$$

$$R_{\Sigma} = 15 + 29,1 + 5 = 49,1 \text{ мОм}$$

Ток КЗ точке К1:

$$I_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2}} \quad (33)$$

$$I_{\text{К1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{49,2^2 + 49,1^2}} = 3,328 \text{ кА}$$

## 16 Проверка электрооборудования на термическую и электродинамическую стойкость

Проверку электрооборудования осуществляем по условиям электродинамической стойкости. При этом должно, выполняться условие:

$$i_{y\partial} \leq I_{эс}, \quad (34)$$

где  $i_{y\partial}$  - ударный ток КЗ;

$I_{эс}$  - ток электродинамической стойкости, кА.

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot I_{т.к.з.}, \quad (35)$$

Так как  $R_{\Sigma} > X_{\Sigma}$ , то  $K_{y\partial} = 1$  и ударный ток равен амплитуде тока установившегося КЗ.

Проверка автоматических выключателей.

Проверяем автоматические выключатели по условиям электродинамической стойкости, по наибольшей отключающей способности.

В силовых пунктах установлены автоматические выключатели серии АД2, ВА 47-100-3 и ВА 47-63-1В.

ВА 47-100-3 и ВА 47-63-1В с номинальными токами расцепителя 10А, 16А для которых  $I_{эс} = 2,5$  кА, выбранный выключатель способен отключить ударный ток в точке КЗ:

$$I_{т.к.з.} = 3,328 \cdot \sqrt{2} = 2,407 \text{ кА}$$

$$2,407 < 2,5 \text{ кА}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

## 17 Расчет токов трехфазного КЗ сети 0,4 кВ. Проверка коммутационных аппаратов по отключающей способности

Расчет токов к.з. ниже 1 кВ, как правило, вводится в именованных единицах. Особенностью расчетов коротких замыканий в сетях ниже 1 кВ является тот факт, что необходимо учитывать сопротивления дуги и трансформатора тока. На автоматах для этой цели вводится дополнительное сопротивление, величина которого зависит от возникновения короткого замыкания, рисунок 6.

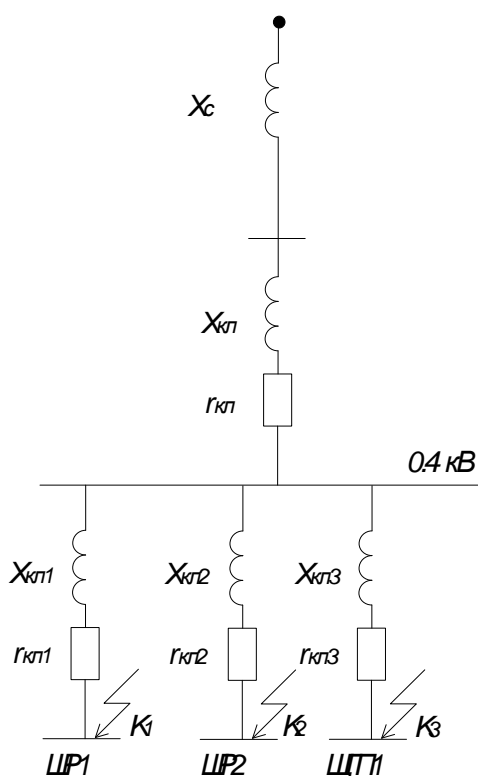


Рисунок 6 – Схема замещения элементов сети

Расчет тока трехфазного к.з. для точки  $K_1$ :

Для кабеля АВВГ – 4х95+1х16 протяженностью  $L_{кл1}=50$ м по справочным данным были определены удельные активное и реактивное сопротивления:

Активное сопротивление :  $R_{уд.кл} = 0,329$  Ом/км

Реактивное сопротивление:  $X_{уд.кл} = 0,0602$  Ом/км

$$R_{л} = R_{уд.кл} \cdot L_{кл}, \text{ мОм} \quad (36)$$

$$R_{л} = 0,329 \cdot 50 = 16,45 \text{ мОм}$$

$$X_{л} = X_{уд.кл} \cdot L_{кл}, \text{ мОм} \quad (37)$$

$$X_{л} = 0,0602 \cdot 50 = 3,01 \text{ мОм}$$

Рассчитаем сопротивление и ток кз в точке К1:

$$X_{\Sigma} = X_{л} + X_{л1} + X_{вн}, \text{ мОм} \quad (38)$$

$$X_{\Sigma} = 3,01 + 13,1 + 36,1 = 52,2 \text{ мОм}$$

Суммарное активное сопротивление должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этой цели в расчет вводят добавочное сопротивление, которое на шинах подстанции 20 мОм

$$R_{\Sigma} = R_{доб} + R_{л1} + R_{л}, \text{ мОм} \quad (39)$$

$$R_{\Sigma} = 20 + 29,1 + 16,45 = 65,6 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ точке К1:

$$I_{к1} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2}} \quad (40)$$

$$I_{к1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{52,2^2 + 65,6^2}} = 2,759 \text{ кА}$$

Аналогичные расчеты производим и для остальных точек к.з., полученные результаты расчетов сведем в таблицу 15

Таблица 15 – Результаты расчетов трехфазного тока КЗ

Точка КЗ	$X_{вн},$ МОм	$R_{л1},$ МОм	$X_{л1}$	$R_{удкл}$	$X_{удкл}$	$L_{кл},$ м	$R_{л},$ МОм	$X_{л},$ МОм	$R_{доб}$	$R_{сумм}$	$X_{сумм}$	$I_{кз}, кА$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
К1	36,1	29,1	13,1	0,329	0,0602	50	16,5	3,01	20	65,6	52,2	2,756
К2	36,1	29,1	13,1	3,12	0,073	7	21,8	0,51	20	70,9	49,7	2,666
К3	36,1	29,1	13,1	7,81	0,095	10	78,1	0,95	20	127,2	50,2	1,689

Проверим выключатели, защищающие кабельные линии напряжением 0,4 кВ. Проверку будем проводить по току КЗ:

$$I_{КЗ} \leq I_{о.с.}$$

где  $I_{о.с.}$ - предельная отключаемая способность.

Таблица 16 – Проверка автоматических выключателей на отключающую способность

№	Точка КЗ	$I_{кз}, кА$	Тип выключателя	Предельная отключающая способность, кА
1	2	3	4	5
ШР1	К1	2,756	ВА 47-100	16
ШР2	К2	2,666	ВА 47-63	16
ЩГП1	К3	1,689	ВА 47-29	16

Автоматические выключатели по проверке на отключаемую способность проходят.

## 18 Расчет токов однофазного КЗ сети 0,4 кВ. Проверка коммутационных аппаратов по чувствительности

Для правильного выбора параметров релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения наряду с токами трехфазных КЗ необходимо знать токи несимметричных КЗ – в нашем случае однофазные КЗ, для проверки чувствительности автоматов НН к таким КЗ [11].

Ток однофазного замыкания на землю в сети 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью, равен утроенному току нулевой последовательности и определяется по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_n} \quad (41)$$

$U_{\phi}$  - фазное напряжение сети;

$\frac{Z_T}{3}$  - сопротивление силового трансформатора при однофазном замыкании на корпус (принимается  $Z_T = 10,6$  мОм при мощности трансформатора 250 кВА с обмотками  $\Delta/Y_n-11$ ).

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\text{дуг.}} + R_{T.T.} + R_a + R_{\phi} + R_n + R_{\phi 1} + R_{n1} + R_{\phi 2} + R_{n2})^2 + (X_{BH.} + X_{T.T.} + X_a + X_{\text{э/о}} + X_{кл} + X_{кл1} + X_{кл2})^2} \quad (42)$$

где  $R_A$ ,  $X_A$  - активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей;

$R_{\phi}$  - суммарные активные сопротивления фазного провода всех участков рассчитываемой цепочки;

$R_{ТТ}, X_{ТТ}$  - активное и индуктивное сопротивление трансформатора тока  
 $R_{ТТ} = 0,00015 \text{ Ом}; X_{ТТ} = 0,00021 \text{ Ом};$

$X_{ВН}$ - сопротивления внешней сети трансформатора;

$R_{дуг}$  - сопротивление дуги в точке КЗ;

$R_n$  – сопротивление нейтрального провода;

$X_{\prime 0}$  - внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль,  
принимается равным 0,6 Ом/км;

Сопротивление кабельной линии от ТП до ВРУ, ВРУ до ШР, от ЩО, от ЩО до ЭП приемника.

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{(30 + 0,15 + 0,4 + 104,4 + 104,4 + 15,6 + 15,6 + 78 + 78)^2 +} \\ + \sqrt{(36,1 + 0,21 + 0,99 + 0,6 + 24,1 + 1,6 + 1,825)^2} = 573,32 \text{ мОм}$$

Определим ток однофазного КЗ для силового щита линии 1:

$$I_{кз} = \frac{220}{\frac{10,6}{3} + 573,32} = 381,4 \text{ А}$$

Расчет однофазных коротких замыканий у остальных электроприемников производится аналогичным образом, а расчет сведем в таблицу 17.

Таблица 17 –Результаты расчета токов однофазного КЗ

№	X <sub>вв</sub>	Z <sub>пр3</sub>	R <sub>двг</sub>	R <sub>тт</sub>	R <sub>а</sub>	X <sub>тт</sub>	X <sub>а</sub>	X <sub>9/0</sub>	X <sub>кз</sub>	L <sub>М</sub>	R <sub>ф</sub>	R <sub>н</sub>	X <sub>кн1</sub>	R <sub>ф1</sub>	R <sub>н1</sub>	X <sub>кз2</sub>	R <sub>ф2</sub>	R <sub>н2</sub>	Z <sub>н</sub>	I <sub>кз</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ЩР-1																				
ЩО-1																				
линия 1-1	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	19,5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	975,3	224,8
линия 1-2	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	27	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	980,7	223,5
линия1-3	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	22,5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	977,4	224,3
линия1-4	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	39	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	989,4	221,6
линия 1-5	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	4	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	964,0	227,4
линия1-6р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	924,2	237,1
линия 1-7р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	16	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	922,7	237,5
линия 1-8р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	16	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	922,7	237,5
линия 1-9р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	924,2	237,1
линия 1-10р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	15	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	922,0	237,7
линия 1-11р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	11	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	919,1	238,4
ЩО-2																				
линия 2-1	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	974,2	225,0
линия 2-2	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	19	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	974,9	224,8
линия 2-3	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	25	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	979,2	223,9
линия 2-4	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	22,5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	977,4	224,3
линия 2-5	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	39	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	989,4	221,6
линия2-6р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	19,5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	925,3	236,9
линия 2-7р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	25,5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	929,6	235,8
линия 2-8р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	13,5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	920,9	238,0



Окончание таблицы 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
линия 2-9р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	924,2	237,1
линия 2-10р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	924,2	237,1
ЩО-3																				
линия 3-1	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	974,2	225,0
линия 3-2	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	25	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	979,2	223,9
линия 3-3	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	22	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	977,1	224,4
линия 3-4	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	25	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	337,5	337,5	979,2	223,9
линия 3-5	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	10	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,525	312,5	312,5	918,4	238,6
линия 3-6р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	28	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	931,4	235,3
линия 3-7р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	27	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	930,7	235,5
линия 3-8р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	12	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	919,8	238,3
линия 3-9р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	19	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	924,9	237,0
линия 3-10р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	12	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	919,8	238,3
линия 3-11р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	18	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	924,2	237,1
линия 3-12р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	20	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	925,6	236,8
линия 3-13р	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	13	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	920,6	238,1
ШР2																				
1	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	5	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	914,8	239,6
2	36,1	3,53	30	0,15	0,40	0,21	0,99	0,6	0,73	8	104,4	104,4	31,2	31,2	15,6	2,6	312,5	312,5	916,9	239,0

Проверка на чувствительность к токам однофазного КЗ проверяется по условию для автоматических выключателей с обратно зависимой от тока характеристикой  $I = I_{н.расц}$ . [11].

$$I_{КЗ}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.расц} \quad (43)$$

Проверка выполнена в таблице 18, где определен коэффициент чувствительности равный отношению тока однофазного КЗ к номинальному току расцепителя.

Таблица 18 – Результаты расчета проверки чувствительности автоматов к однофазным КЗ в сети 0,4 кВ

№	$I_{КЗ}$	Тип автомата	Номинальный ток выключателя, А	$I_{КЗ} / I_{н.в.}$
1	2	3	4	5
ЩР-1				
ЩО-1				
линия 1-1	224,8	ВА 47-63-1В	10	22,5
линия 1-2	223,5	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия 1-3	224,3	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия 1-4	221,6	ВА 47-63-1В	10	22,2
линия 1-5	227,4	ВА 47-63-1В	10	22,7
линия 1-6р	237,1	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 1-7р	237,5	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 1-8р	237,5	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 1-9р	237,1	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 1-10р	237,7	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 1-11р	238,4	ВА 47-63-1В	25	9,5
ЩО-2			0	
линия 2-1	225,0	ВА 47-63-1В	10	22,5
линия 2-2	224,8	ВА 47-63-1В	10	22,5
линия 2-3	223,9	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия 2-4	224,3	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия 2-5	221,6	ВА 47-63-1В	10	22,2
линия 2-6р	236,9	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 2-7р	235,8	АД-2, 30мА	25	9,4
линия 2-8р	238,0	АД-2, 30мА	25	9,5

## Окончание таблицы 18

1	2	3	4	5
линия 2-9р	237,1	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 2-10р	237,1	АД-2, 30мА	25	9,5
ЩО-3			0	
линия 3-1	225,0	ВА 47-63-1В	10	22,5
линия 3-2	223,9	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия 3-3	224,4	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия 3-4	223,9	ВА 47-63-1В	10	22,4
линия3-5	238,6	ВА 47-63-1В	10	23,9
линия3-6р	235,3	АД-2, 30мА	25	9,4
линия 3-7р	235,5	АД-2, 30мА	25	9,4
линия 3-8р	238,3	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 3-9р	237,0	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 3-10р	238,3	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 3-11р	237,1	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 3-12р	236,8	АД-2, 30мА	25	9,5
линия 3-13р	238,1	АД-2, 30мА	25	9,5
ШР2			0	
1	239,6	ВА 47-63-3 С	50	4,8
2	239,0	ВА 47-63-3 С	50	4,8

Для проверки автомата на чувствительность, проверяем токи КЗ в самой удаленной точке по каждому щиту. Если на самой удаленной точке автоматы почувствуют ток КЗ, то на остальных линиях тоже будут чувствительны автоматы [11].

Отключающая способность соответствует требованиям, значит все выбранные выключатели проходят по чувствительности и выбраны верно.

## 19 Расчет потерь напряжения и анализ качества напряжения силовой и осветительной сети

Анализ качества напряжения в силовой сети.

Качество напряжение зависит от потерь напряжения в отдельных элементах питающей сети. Отклонения напряжения согласно ГОСТ не должны выходить в нормальном режиме работы, за пределы:  $(-5 \div +5) \%$  от

$U_{ном}$  в максимальном и минимальном режимах и за пределы  $(-10 \div +10) \%$  от  $U_{ном}$  в послеаварийном режиме.

Отклонение напряжения на каждом участке определяем по формуле:

$$V = \frac{(U_{ИП} - \Delta U_{участка}) - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% \quad (44)$$

где  $U_{ИП}$  - напряжения в начале участка ;

$\Delta U_{участка}$  — потери напряжения на участке;

$U_{ИП}$  - номинальное напряжения сети.

Отклонения напряжения рассчитываются в максимальном и минимальном режиме для самого мощного и самого удаленного электроприемника от РП.

Самый мощный электроприемник, схема приведена на рисунке 7. Самыми мощными являются электроприемник тепловая завеса 9 кВт.

Максимальный режим:

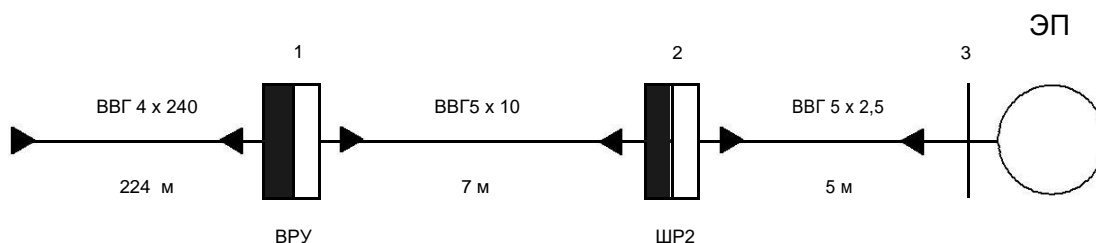


Рисунок 7 – Схема замещения для самого мощного электроприемника

Падение напряжения в кабеле :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot (r_{кл} \cdot \cos\varphi + X_{кл} \cdot \sin\varphi) \quad (45)$$

Тогда отклонения напряжений на данном участке:

$$V_{кон} = V_{нач} - \Delta U, \% \quad (46)$$

Проверку анализа качества напряжения в силовой сети сведем в таблицу 19.

Таблица 19 – Проверка анализа качества напряжения в силовой сети для самого мощного электроприемника

№ п/п	R, Ом	X	cos	sin	участок	Vнач, %	Ip, А	ΔU, В	ΔU, %	Vкон, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
максимальный режим										
линия 1	0,081	0,019	0,83	0,56	1	4,00	70,62	9,53	2,51	1,49
линия 2	0,033	0,081	0,67	0,74	2	1,49	41,70	5,96	1,57	-0,08
линия 3	0,370	0,006	0,9	0,44	3	-0,08	29,09	9,76	4,44	-4,51
минимальный режим										
линия 1	0,081	0,019	0,83	0,56	1	2,00	42,37	5,72	1,50	0,50
линия 2	0,033	0,081	0,67	0,74	2	0,50	41,70	5,96	1,57	-1,07
линия 3	0,370	0,006	0,9	0,44	3	-1,07	29,09	9,76	4,44	-5,51
послеаварийный режим										
линия 1	0,081	0,019	0,83	0,56	1	4,00	141,24	19,06	5,02	-1,02
линия 2	0,033	0,081	0,67	0,74	2	-1,02	41,70	5,96	1,57	-2,58
линия 3	0,370	0,006	0,9	0,44	3	-2,58	29,09	9,76	4,44	-7,02

По данным таблицы 20 построим эпюры отклонения напряжения для самого мощного электроприемника, рисунок 8.

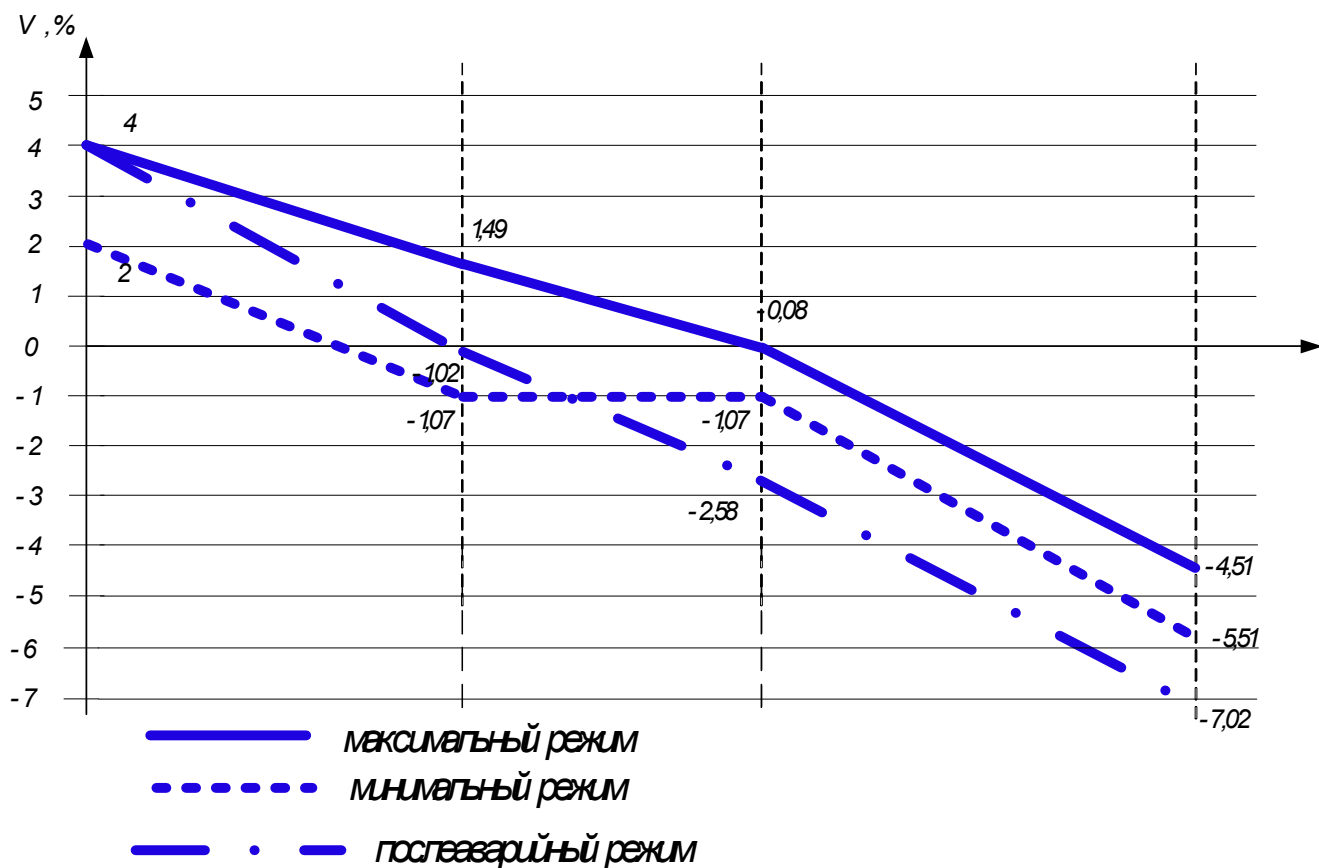


Рисунок 8 – Эпюра отклонение напряжения для самого мощного электроприемника

Самый удаленный электроприемник, схема приведена на рисунке 9. Самым удаленным электроприемником является рукосушитель.

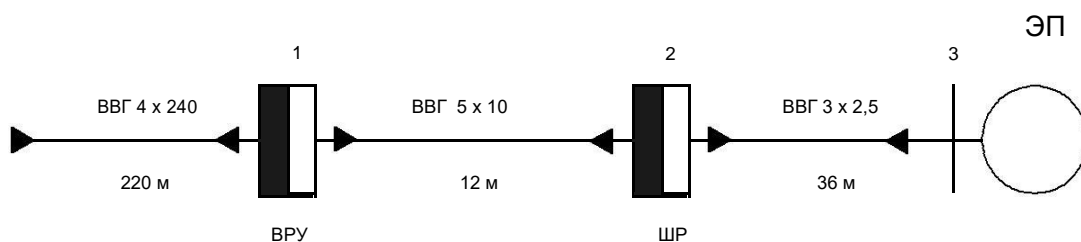


Рисунок 9 – Схема замещения для самого удаленного электроприемника

Проверку анализа качества напряжения в силовой сети сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Проверка анализа качества напряжения в силовой сети для самого мощного электроприемника

№п/п	R, Ом	X	cos	sin	участок	Vнач, %	Ip, А	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %	Vкон, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
максимальный режим										
линия 1	0,081	0,019	0,83	0,558	1	4,00	70,62	9,53	2,51	1,49
линия 2	0,012	0,081	0,65	0,76	2	1,49	41,70	5,03	1,32	0,17
линия 3	0,392	0,006	0,66	0,75	3	0,17	3,80	1,00	0,45	-0,28
минимальный режим										
линия 1	0,081	0,019	0,83	0,56	1	2,00	42,37	5,72	1,50	0,50
линия 2	0,012	0,081	0,65	0,76	2	0,50	41,70	5,03	1,32	-0,83
линия 3	0,392	0,006	0,66	0,75	3	-0,83	3,80	1,00	0,45	-1,28
послеаварийный режим										
линия 1	0,081	0,019	0,83	0,56	1	4,00	141,24	19,06	5,02	-1,02
линия 2	0,012	0,081	0,65	0,76	2	-1,02	41,70	5,03	1,32	-2,34
линия 3	0,392	0,006	0,66	0,75	3	-2,34	29,09	7,65	3,48	-5,82

По данным таблицы 23 построим эпюры отклонения напряжения для самого удаленного электроприемника, рисунок 9.

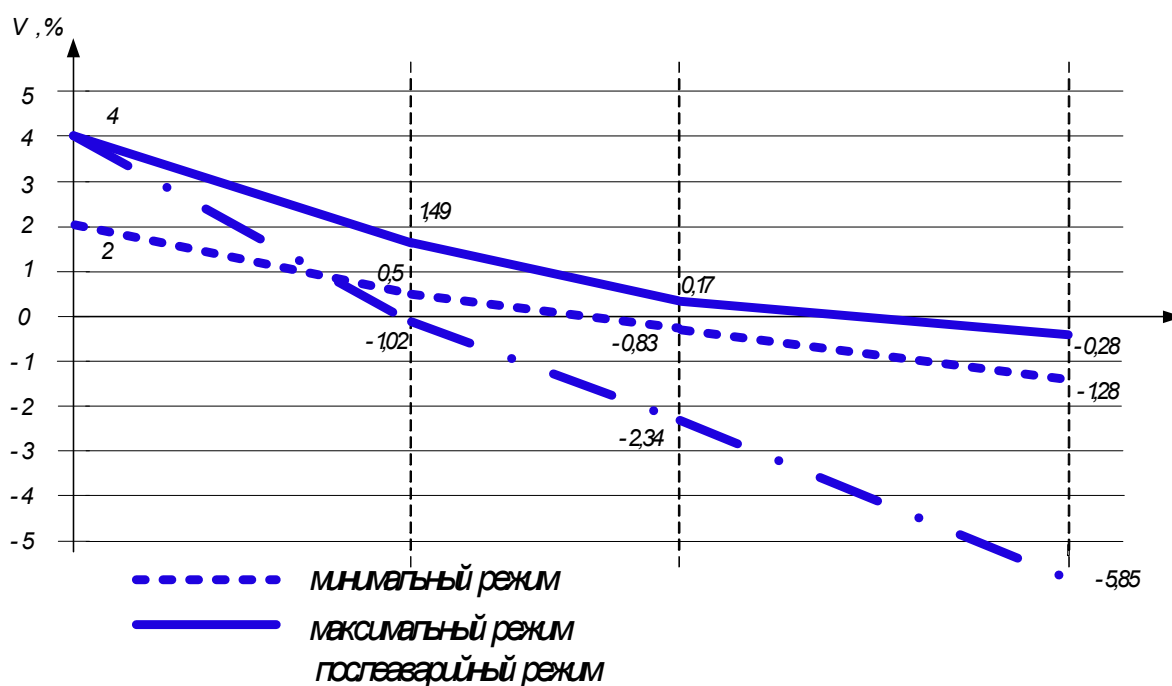


Рисунок 9 – Эпюры отклонения напряжения для самого удаленного электроприемника

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данной выпускной квалификационной работы является система электроснабжения торгового центра «Волна» г. Барнаул, ул. Власихинская, 65. Система электроснабжения спроектирована с учетом действующих нормативных документов.

Рассчитана электрическая нагрузка ЭП в целом по торговому центру, рассчитаны электрические нагрузки по уровням электроснабжения.

Выбраны кабельные линии, вводное распределительное устройство и вводной автомат, щиты силовые совмещенные с осветительной нагрузкой, сечений проводов и кабельных линий и параметры коммутационно-защитных аппаратов.

Выбранное электротехническое электрооборудование проверено на действие токов короткого замыкания.

Проведены светотехнический расчеты освещения. В проекте предусмотрено также аварийное и эвакуационное освещение.

Поставленная в работе цель достигнута, задачи решены в полном объеме в соответствии с выданным заданием.

Практическая значимость исследования обусловлена тем, что теоретические и практические рекомендации могут быть использованы специалистами при строительстве и реконструкции объектов торговли.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арзамасцев, Д.А. Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях / Д.А. Арзамасцев, А.В. Липес. – М.: Высшая школа, 2014. – 127 с.
2. Блок, В.М. Электрические сети и системы / В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 2012. – 430 с.
3. Бохмат, И.С. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. / Электрические станции / В.Э. Воротницкий, Е.П. Татаринов, 2014, №9.
4. Будзко, И.А. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов / М.С. Левин - М.: Агропромиздат, 2012. - 320с.
5. Веников, В.А. Электрические системы. Режимы работы электрических систем и сетей / под ред. В.А. Веникова. – М.: Высшая школа, 2008. – 344 с.
6. Веников, В.А. Электрические системы. Т. 2: Электрические сети / В.А. Веников, А.А. Глазунов, В.А. Жуков, Л.А. Солдаткина; под ред. В.А. Веникова. – М.: Высшая школа, 2010. – 438 с.
7. Веников, В.А. Электрические системы. Т. 2: Электрические сети / под ред. В.А. Веникова. – М.: Высшая школа, 2011. – 440 с.
8. Воротницкий, В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / Железко Ю.С., Казанцев В.Н. - М.: Энергоатомиздат, 2008. - 368с.
9. Глазунов, А.А. Электрические сети и системы: учебник / А.А. Глазунов, А.А. Глазунов. – М.: Госэнергоиздат, 2010. – 368 с.
10. ГОСТ 17677-82. Светильники. Общие технические условия. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/10/10583/>
11. ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004630>
12. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в

- системах электроснабжения общего назначения. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>
13. ГОСТ 6825 -91 «Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005327>
14. ГОСТ 31532-2012 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения. Режим доступа: [http://gostisnip.ru/dokumenty/gosty/energoberezhnie/gost\\_r\\_31532-2012](http://gostisnip.ru/dokumenty/gosty/energoberezhnie/gost_r_31532-2012).
15. Ежков, В.В. Энергетические системы и сети в примерах и иллюстрациях: учебное пособие для энергетических специальностей / В.В. Ежков, Г.К. Зарудский, Е.Н. Зуев и др.; под ред. В.А. Строева. – М.: Высшая школа, 2009. – 352 с.
16. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения:/ под ред. Г.М. Кнорринга.- М: Энергия, 2002. -384 с.: ил.
17. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп./ И.П. Крючков – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 608 с.: ил.
18. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 22.02.2016) "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии" (вместе с "Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии", "Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии") // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_130498/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/)
19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-ое издание. Главы 1.1-1.2, 1.7-1.9, 2.4-2.5, 4.1-4.2, 7.1-7.2, 7.5-7.6, 7.10, раздел 6. – М.: Ростехнадзор, 2010. – 411 с.
20. Приказ ФСТ России от 10.10.2021 N 225-э/1 "О предельных уровнях тарифов на электрическую энергию (мощность) на 2022 год" (Зарегистрировано в

Минюсте России 28.10.2021 N 34488) [Электронный ресурс]. Приложение N 4 к приказу Федеральной службы по тарифам от 10 октября 2021 г. N 225-э/1// Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

21. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». Режим доступа: [http://energoeducation.ru/wpcontent/uploads/2015/11/LAW94054\\_0\\_20151002\\_142857\\_54007.pdf](http://energoeducation.ru/wpcontent/uploads/2015/11/LAW94054_0_20151002_142857_54007.pdf)
22. Расчет электрических нагрузок в системах электроснабжения: Методические указания к выполнению курсового и дипломного проектирования для студентов специальности 100400 «Электроснабжение (по отраслям)» всех форм обучения / сост. Н.В. Дулесова. – Красноярск, 2012. - 28 с.
23. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. – Взамен ВСН 59-88; введ. 26.10.2003.
24. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети: в 2т./ под ред. А.А. Федорова, и Г.В. Сербиновского - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 2014. – 576с.: ил.
25. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования. / В. П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ: - ИНФРА – М, 2010 – 214 с.: ил.

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
А.С. Торопов  
подпись инициалы, фамилия  
«29» 06 2023г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код - наименование направления

Электроснабжение торгового центра «Волна»  
г. Барнаул, ул. Власихинская, 65  
тема

Руководитель	<u>Дулесова</u> <u>29.06.2023</u> 2023г. подпись, дата	доцент каф. ЭЭ, к.э.н. должность, ученая степень	<u>Н.В. Дулесова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>Симонов</u> <u>28.06</u> 2023г. подпись дата		<u>А.В. Симонов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>Кычакова</u> <u>28.06.2023</u> , подпись, дата	2023г. должность, ученая степень	<u>И.А. Кычакова</u> инициалы, фамилия

Абакан 2023