

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учре-
ждений
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство торгового центра»

| | | | |
|--------------|---|-------|------------------|
| Студент | <u>М.А. Назаров</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |
| Руководитель | <u>Д.А. Кретов</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |
| Консультант | <u>А.В. Кириллова</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____
(личная подпись)
« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

ABSTRACT

This graduation work is about electrical equipment and electrical facilities of the shopping center. The graduation work consists of an explanatory note on 50 pages, introduction, including 10 figures, 12 tables, the list of 21 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is to design an electric utility, to calculate and to select the electrical equipment, which is necessary to ensure high reliability and economy of a shopping center.

To achieve this goal, we set a number of tasks. We give full coverage to the power supply system of the center, the calculation of electrical loads, lighting, cable sections, the selection fixtures, electrical equipment and devices is carried out. On the basis of the loads calculation the type, number and transformers power have been selected. The issues of energy efficiency and economic component are highlighted in the project's general part. The special part of the work gives details about the system of grounding and lightning protection of the building. This is a very important section, since the design and calculation of these parameters is mandatory in the design of the power supply system for buildings and structures, since this affects the life and safety of people.

The result of the graduation work is the power supply system of the shopping center was designed and the appropriate electrical equipment was selected.

АННОТАЦИЯ

Темой ВКР является «Электрооборудование и электрохозяйство торгового центра».

Тема работы является важной, поскольку проектирование объектов и реконструкция существующих предъявляет другие требования к новому оборудованию и объектам проектирования, исходя из действующих норм и правил при проектировании систем электроснабжения. Использование актуальных методов при проектировании приводит к таким важным критериям, как надежность работы системы электроснабжения, а также обеспечивает безопасность для жизни людей.

Под целью работы понимается создание экономически эффективной и надежной схемы электрооборудования и электрохозяйства торгового центра. В соответствии с поставленной целью в данной работе сделан анализ объекта. Проведенный анализ объекта помог провести расчет электрических нагрузок торгового центра и сделать выбор соответствующего электрооборудования, которое соответствует современным нормам, правилам и другим важным критериям.

Для достижения цели ВКР был выполнен ряд задач. Проведен расчет электрических нагрузок проектируемого объекта. По расчетам нагрузок, назначению объекта и условиям прокладки были выбраны кабели для силовой и распределительной сетей, соответствующие кабелям автоматы. С учетом свода норм и правил освещенности были рассчитаны и выбраны осветительные установки для наружного и внутреннего освещения. С учетом расчетных нагрузок, осветительной, пожарной нагрузки были выбраны соответствующие трансформаторы. Исходя из ТКЗ было проверено оборудование КТП каталога СЭЩ по различным параметрам. Проведен расчет заземления и молниезащиты торгового центра. Проведен расчет отопления и вентиляции торгового центра.

Пояснительная записка выполнена на 50 страницах, содержит 12 таблиц, 10 рисунков, 21 источников, 5 из которых – иностранные. Графическая часть представлена на шести листах формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 Расчет электрических нагрузок | 6 |
| 2 Расчет освещения | 15 |
| 3 Выбор числа и мощности трансформаторов и компенсирующих устройств.. | 23 |
| 4 Расчет токов КЗ | 28 |
| 4.1 Расчет токов КЗ выше 1 кВ | 28 |
| 4.2 Расчет токов КЗ ниже 1 кВ..... | 30 |
| 5 Выбор оборудования..... | 35 |
| 5.1 Выбор автоматических выключателей..... | 35 |
| 5.2 Выбор трансформаторов тока | 36 |
| 5.3 Выбор разъединителей..... | 38 |
| 5.4 Выбор кабелей | 39 |
| 6 Расчет сопротивления заземляющего устройства и молниезащита | 43 |
| 7 Расчет отопления и вентиляции..... | 46 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 48 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ИСТОЧНИКОВ..... | 49 |

ВВЕДЕНИЕ

Торговый центр — это группа предприятий, занимающиеся торговлей, а также продажей различных товаров, которые управляются как единое целое и которые находятся в одном здании либо комплексе зданий. Торговый центр является общественным зданием. В условиях развития торговых отношений, а также развития рынка услуг существует проблема высокой стоимости арендной платы торговой площади, а также оборудования и условий для обеспечения их работы. Поэтому люди для открытия своего бизнеса все чаще прибегают к использованию торговых центров, поскольку торговые центры имеют высокую проходимость и оказывают необходимые удобства.

Также, торговые центры выгодны с точки зрения безопасности, экономии земельных и энергитических ресурсов. За работу эффективность использования ресурсов торговым центром отвечает правильный выбор оборудования и грамотность проектирования электрохозяйства торгового центра.

Основными потребителями электроэнергии торгового центра являются вентиляционное оборудование, освещение, холодильные установки системы кондиционирования.

Для приема и распределения электроэнергии на территории торгового центра предусматривается комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа – 10/0,4кВ.

1 Расчет электрических нагрузок

Для определения расчетной мощности группы электроприемников воспользуемся следующей формулой:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1.1)$$

где K_c – коэффициент спроса;

P_n – номинальная мощность группы электроприемников, кВт.

По полученному для каждой группы электроприемников значению P_p определяется реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников.

Далее найдем полную нагрузку по следующей формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.3)$$

Максимальный расчетный ток рассчитаем по формуле:

$$I_p = \frac{S}{U \sqrt{3}} \quad (1.4)$$

Таблица 1.1 – Расчет нагрузок ВРУ-1 (торговый центр)

| № | Наименование потребителей | Установленная мощность | K_c | Коэффиц. реактивной мощности | | Потребляемая мощность | | | Установл. расч. ток | Максим. расч. ток |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------|-------|------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|
| | | P_y , кВт | | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $P_p=P_y \cdot K_c$, кВт | $Q_p=P_p \cdot tg\varphi$, кВар | $S_p=\sqrt{P_p^2+Q_p^2}$, кВА | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| ВРУ-1 потребители II категории | | | | | | | | | | |
| 1 | Внутреннее освещение | 41,6 | 1 | 0,92 | 0,43 | 41,60 | 17,72 | 45,22 | 63,20 | 68,70 |
| | ЩО1.1 | 5,8 | | | | | | | | |
| | ЩО1.2 | 5,8 | | | | | | | | |
| | ЩО1.3 | 5,2 | | | | | | | | |
| | ЩО2.1 | 7,3 | | | | | | | | |
| | ЩО2.2 | 5,6 | | | | | | | | |
| | ЩО2.3 | 6,1 | | | | | | | | |
| | ЩО3.1 | 5,8 | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|-------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2 | Наружное освещение | 7,4 | 1 | 0,85 | 0,62 | 7,40 | 4,59 | 8,71 | 11,24 | 13,23 |
| | ШНО | 7,4 | | | | | | | | |
| 3 | Бытов. приборы, компьютеры и орг- техника | 32,5 | 0,56 | 0,97 | 0,25 | 18,27 | 4,58 | 18,83 | 49,38 | 28,61 |
| 4 | Сантехническое обо- рудование | 13,5 | 0,67 | 0,98 | 0,20 | 9,05 | 1,84 | 9,23 | 20,51 | 14,02 |
| 5 | Вентиляционное обо- рудование | 61,6 | 0,74 | 0,90 | 0,48 | 45,58 | 22,08 | 50,65 | 93,59 | 76,95 |
| | ЩВ1.1 | 16,7 | | | | | | | | |
| | ЩВ2.1 | 0,9 | | | | | | | | |
| | ЩВ3.2 | 24,3 | | | | | | | | |
| | ЩВ3.3 | 19,7 | | | | | | | | |
| 6 | Холодильные уста- новки сист. кондици- онирования | 119,8 | 0,8 | 0,81 | 0,72 | 95,84 | 69,39 | 118,32 | 182,02 | 179,77 |

∞

Продолжение таблицы 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|----------|-----|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | ПД3 | 3 | | | | | | | | |
| | ПД4 | 5,5 | | | | | | | | |
| | ПД5 | 3 | | | | | | | | |
| | ПД6 | 4 | | | | | | | | |
| | ПД7 | 1,5 | | | | | | | | |
| | ПД8 | 5,5 | | | | | | | | |
| | ПД9 | 3 | | | | | | | | |
| | ПД1 лифт | 1,1 | | | | | | | | |
| | ПД1 ЗБ | 4 | | | | | | | | |
| | ВД1 | 7,5 | | | | | | | | |
| | ВД2 | 5,5 | | | | | | | | |
| | ВД3 | 3 | | | | | | | | |
| | ВД4 | 7,5 | | | | | | | | |
| | ВД5 | 3 | | | | | | | | |
| | ВД6 | 7,5 | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|-----------------------|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ВД7 | 5,5 | | | | | | | | |
| | ВД8 | 3 | | | | | | | | |
| | ВД9 | 3 | | | | | | | | |
| | ВД10 | 5,5 | | | | | | | | |
| | ВД11 | 5,5 | | | | | | | | |
| 1 | Аварийное освещение | 4,2 | 1 | 0,95 | 0,33 | 4,20 | 1,38 | 4,42 | 6,38 | 6,72 |
| | ЩАО1.1 | 2,4 | | | | | | | | |
| | ЩАО2.1 | 0,7 | | | | | | | | |
| | ЩАО3.1 | 1,1 | | | | | | | | |
| 2 | Лифтовое оборудование | 38 | 0,7 | 0,65 | 1,17 | 26,60 | 31,10 | 40,92 | 57,74 | 62,18 |
| | ШУЛ1 | 9,5 | | | | | | | | |
| | ШУЛ2 | 9,5 | | | | | | | | |
| | ШУЛ3 | 9,5 | | | | | | | | |
| | ШУЛ4 | 9,5 | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----|--|--------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Оборуд. охранной и пожар. безопасности | 7 | 1 | 0,95 | 0,33 | 7,00 | 2,30 | 7,37 | 10,64 | 11,20 |
| | ЩРСерв | 3 | | | | | | | | |
| | ЩПС | 2 | | | | | | | | |
| | ЩОС | 2 | | | | | | | | |
| | КНС | 22 | 0,5 | 0,80 | 0,75 | 11,00 | 8,25 | 13,75 | 33,43 | 20,89 |
| 3 | Очистные сооружения "Волна" | 3 | 1 | 0,80 | 0,75 | 3,00 | 2,25 | 3,75 | 4,56 | 5,70 |
| | Насос ХВС | 0,37 | 1 | 0,91 | 0,46 | 0,37 | 0,17 | 0,41 | 0,56 | 0,62 |
| | ИТП | 5 | 1 | 0,95 | 0,33 | 5,00 | 1,64 | 5,26 | 7,60 | 8,00 |
| | ШСН-1 | 2,1 | 0,5 | 0,80 | 0,75 | 1,05 | 0,79 | 1,31 | 3,19 | 1,99 |
| | ШСН-2 | 3,1 | 1 | 0,95 | 0,33 | 3,10 | 1,02 | 3,26 | 4,71 | 4,96 |
| 5 | Насос противопожарный - внутренний | 3 | 1 | 0,85 | 0,62 | 3,00 | 1,86 | 3,53 | 4,56 | 5,36 |
| | БУ-Оч.Волна | 3 | | | | | | | | |
| 10 | Насос противопожарный - наружный | 11 | 1 | 0,85 | 0,62 | 11,00 | 6,82 | 12,94 | 16,71 | 19,66 |
| | БУ-КНС | 11 | | | | | | | | |
| | Итого на ВРУ-1 | 527,47 | 0,82 | 0,87 | 0,57 | 432,77 | 247,20 | 498,40 | 801,41 | 757,24 |

Расчетная нагрузка питающих линий при совместном питании силовых электроприемников и освещения в соответствии с п.п.6.28(12) СП31-110-2003 [1] составит:

$$P_{\text{расч}} = K \cdot (P_{\text{ро}} + P_{\text{рс}} + K_1 P_{\text{рхс}}) \quad (1.5)$$

где K – коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение, принимаемый по таблице 6.11 [1];

K_1 – коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, принимаемый по примечанию 3 к таблице 6.11 [1];

$P_{\text{ро}}$ – расчетная нагрузка освещения, кВт;

$P_{\text{рс}}$ – расчетная нагрузка силовых электроприемников без холодильных машин систем кондиционирования воздуха, кВт;

$P_{\text{рхс}}$ – расчетная нагрузка систем кондиционирования воздуха холодильного оборудования, кВт.

Из формулы 1.5 получаем:

$$P_{\text{расч}} = 0,85 \cdot 53,2 + 206,2 + 0,5 \cdot 119,8 = 271,4 \text{ кВт}$$

Расчетная мощность для помещений зон торговли принята 10 кВт для одного силового щита.

Таблица 1.2 – Расчет нагрузок ВРУ-2 (Зона торговли)

| Наименование потребителей | $P_{\text{уст}}$, кВт | K_c | $\cos\varphi$ | $\text{tg}\varphi$ | $P_{\text{расч}}$, кВт | $Q_{\text{расч}}$, кВт | $S_{\text{расч}}$, кВА |
|---------------------------------------|------------------------|-------|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Зона торговли - ЩР-1 (1 этаж), ЩС-6шт | 60,00 | 0,90 | 0,95 | 0,33 | 54,00 | 17,75 | 56,84 |
| Зона торговли - ЩР-3 (1 этаж), ЩС-4шт | 40,00 | 0,90 | 0,95 | 0,33 | 36,00 | 11,83 | 37,89 |
| Зона торговли - ЩР-4 (2 этаж), ЩС-4шт | 60,00 | 0,90 | 0,95 | 0,33 | 54,00 | 17,75 | 56,84 |

Продолжение таблицы 1.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|--------|------|------|------|--------|-------|--------|
| Зона торговли - ЩР-6 (2 этаж), ЩС-4шт | 40,00 | 0,90 | 0,95 | 0,33 | 36,00 | 11,83 | 37,89 |
| Итого на ВРУ-2 | 200,00 | 0,90 | 0,95 | 0,33 | 180,00 | 59,16 | 189,47 |

Рассчитаем общую расчетную нагрузку в рабочем режиме и режиме «пожар» на торговый центр на РУ-0,4 кВ проектируемой КТП при смешанном питании в соответствии с СП 31-110-2003 [1] по формулам:

$$P_{\text{р.раб.режим}} = P_{\text{зд.макс}} + K_1 \cdot P_{\text{зд.1}} \quad (1.6)$$

где $P_{\text{зд.макс}}$ – наибольшая нагрузка из зданий, кВт;

$P_{\text{зд.1}}$ – расчетная нагрузка нежилых помещений, кВт;

K_1 – коэффициент участия нежилых помещений в наибольшей нагрузке $P_{\text{зд.макс}}$, принимаемый по таблице 6.13 СП 31-110-2003 [1].

$$P_{\text{р.режим пожар}} = P_{\text{зд.макс пожар}} + K_1 \cdot P_{\text{зд.1}} \quad (1.7)$$

где $P_{\text{зд.макс пожар}}$ – наибольшая нагрузка при пожаре (из схемы ВРУ), кВт.

По формулам 1.6 и 1.7 получаем:

$$P_{\text{р.раб.режим}} = 271,4 + 0,8 \cdot 180 = 415,41 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{р.режим пожар}} = 310,04 + 0,8 \cdot 180 = 454,04 \text{ кВт}$$

$S_{\text{р.режим пожар}} = 504,49 \text{ кВА}$ условие выполняется по выбору трансформатора $K_3 = 0,8$.

2 Расчет освещения

Расчет освещения и выбор светильников проведем в программе Dialux.





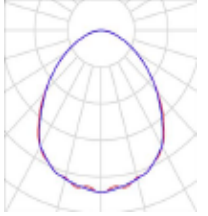
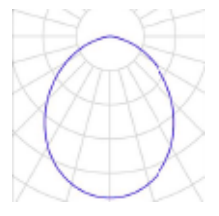
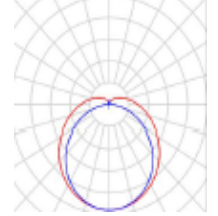
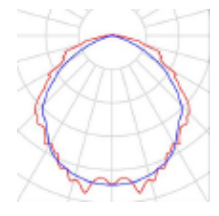
Согласно ГОСТ Р 55710-2013 [2] таблицы 21 эксплуатационная освещенность торговых залов равна 300 лк. Согласно пункту 3.1.8 это значение должно быть меньше $E_{ср}$. Исходя из этого, выберем оптимальное количество светильников и их расположение.

Паспорт светильников, а также их количество, КСС, общий вид представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Таблица выбранных светильников и их количества

| Светильник | ASTZ- ДВО12-38- 001 Prizma 840 | ASTZ- ДВО59-35- 001 DLU840 | ASTZ- ДПО52-40- 101 Optimus 840 | ASTZ- ДСП52-32- 102 Optima 840 |
|---|---|----------------------------------|--|---|
| Световой по- ток, лм | 4044 | 3321 | 4566 | 3939 |
| Мощность све- тильников, Вт | 34,8 | 35,0 | 38,0 | 32,2 |
| Классификация светильников по СIE | 100 | 100 | 88 | 98 |
| CIE Flux Code | 56 86 97 100 100 | 54 84 98 100 100 | 41 70 89 88 100 | 47 78 94 98 100 |
| Комплектация | 1xLED (Поправочный коэффициент 1,00) | | | |
| Количество, шт. | 1106 | 47 | 82 | 100 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|---|---|---|---|
| Общий вид |  |  |  |  |
| Кривая силы света (КСС) |  |  |  |  |

Места расстановки светильников на плане, результаты расчетов средней, максимальной, минимальной освещенности, также их отношений, графическое изображения распределения освещенности по рабочей поверхности для всех этажей приведены на рисунках 2.4, 2.5, 2.6.

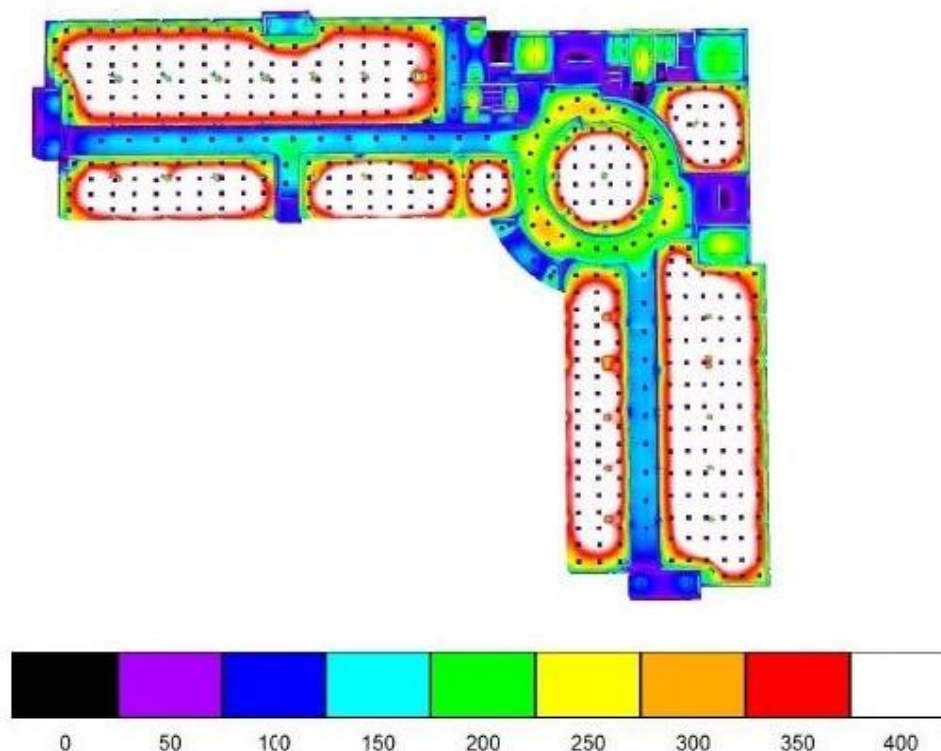


Рисунок 2.1 – Распределение уровней освещенности на первом этаже

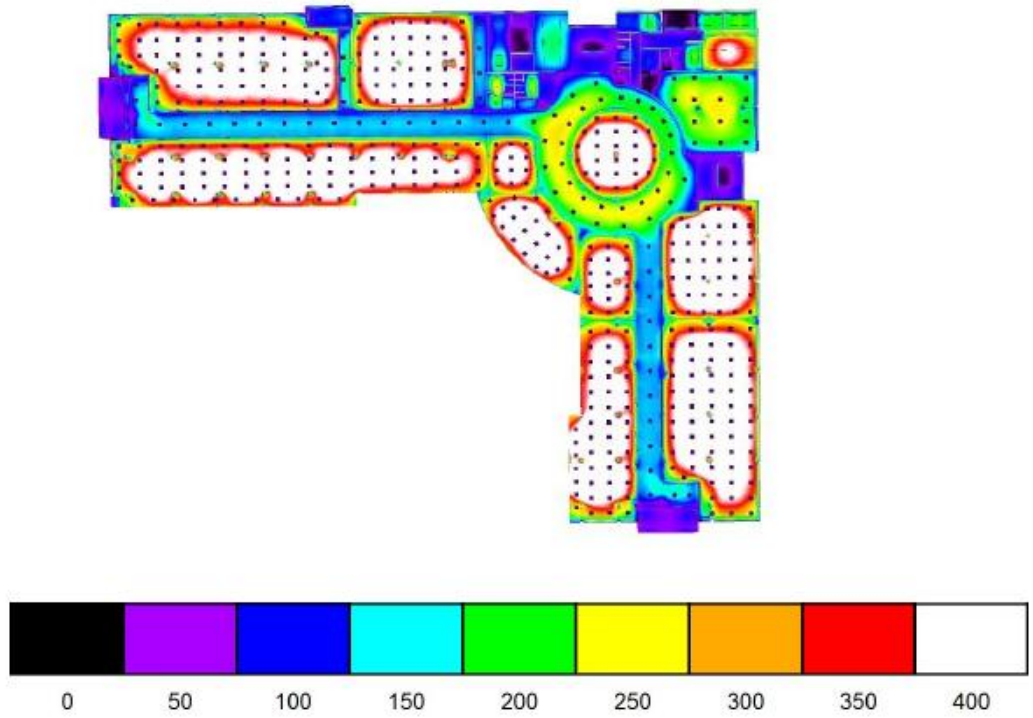


Рисунок 2.2 – Распределение уровней освещенности на втором этаже

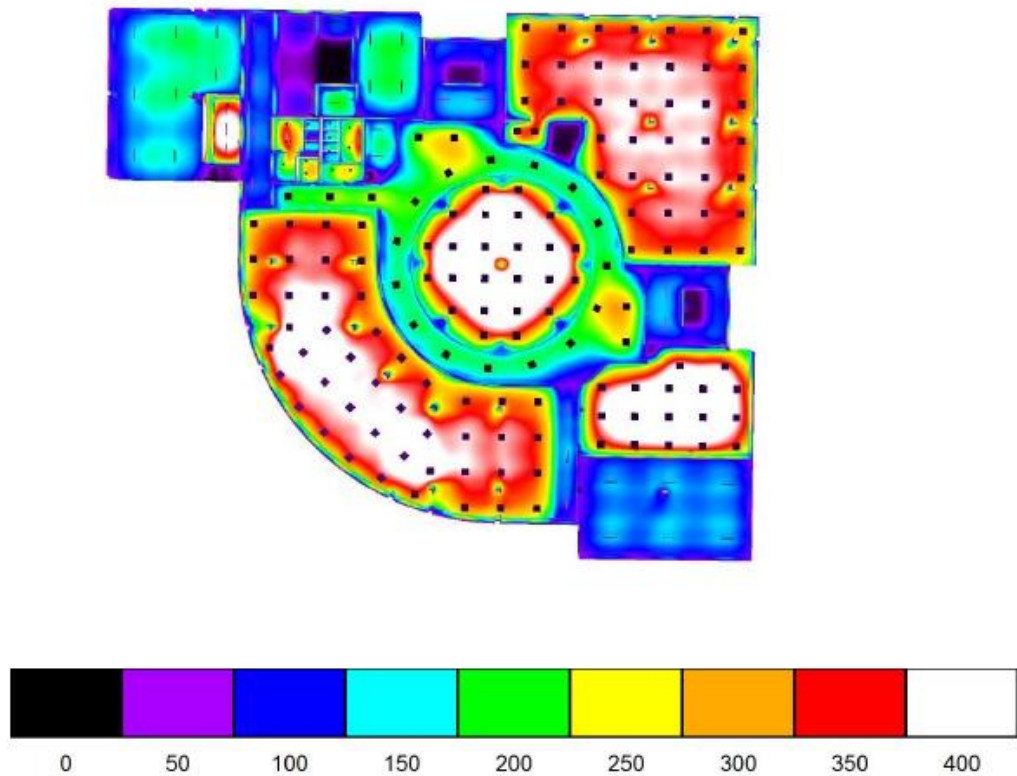
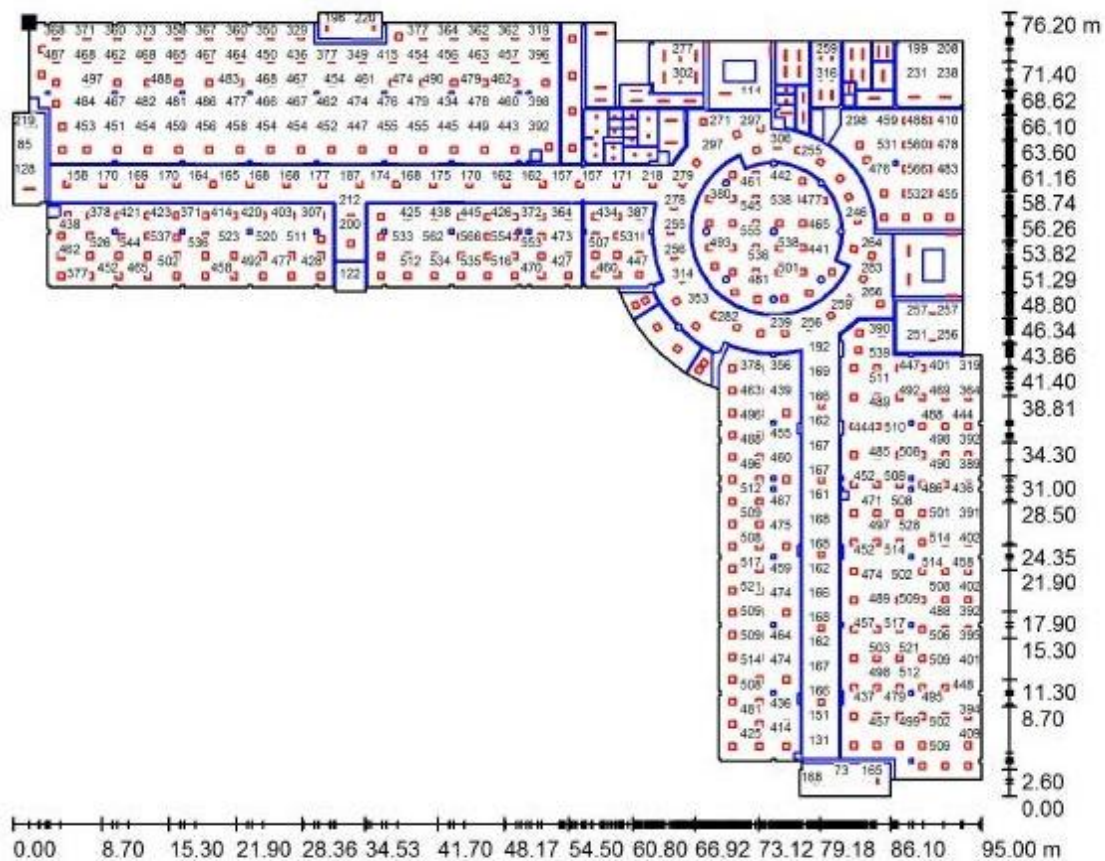


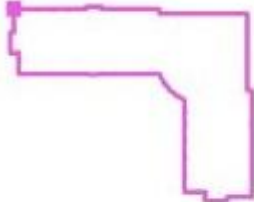
Рисунок 2.3 – Распределение уровней освещенности на третьем этаже



Значения в Lux, Масштаб 1 : 680

Не все расчетные данные могут быть представлены.

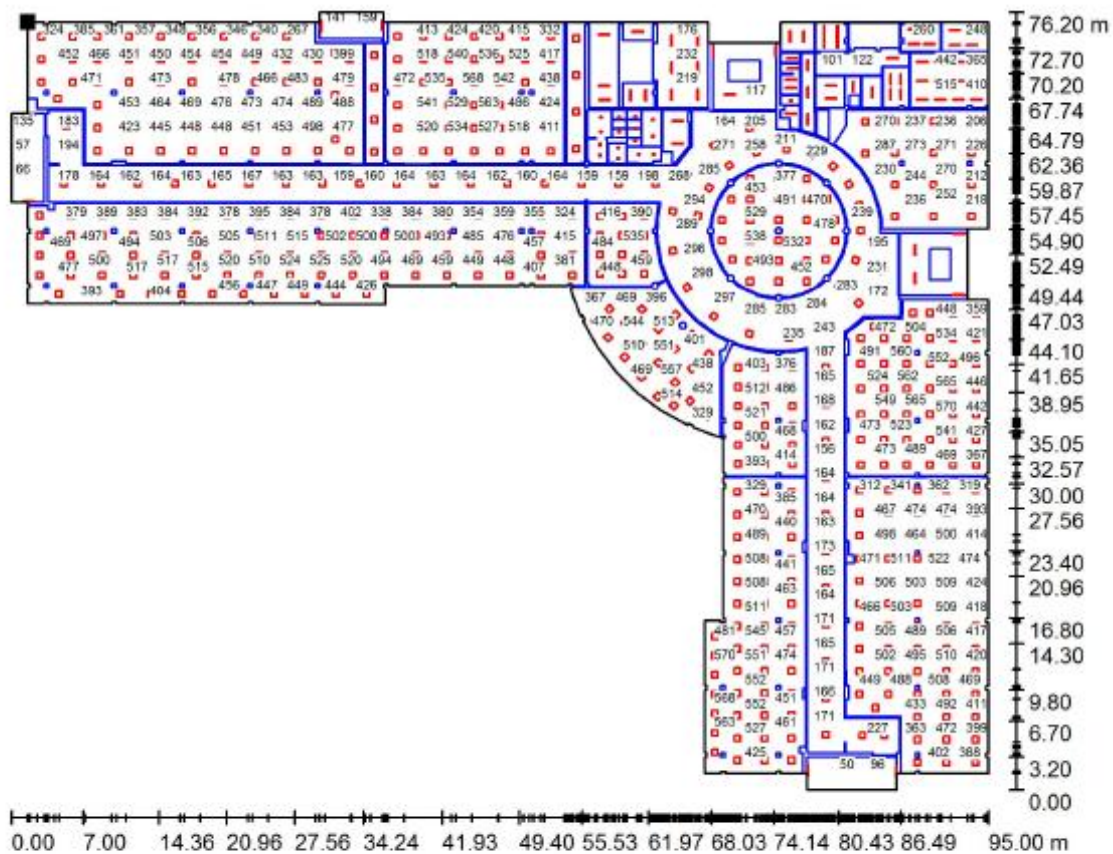
Расположение поверхности в помещении:
 Выделенная точка:
 (445.054 m, 368.258 m, 0.800 m)



Растр: 128 x 128 Точки

| | | | | |
|---------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_{cp} | E_{min} / E_{max} |
| 347 | 21 | 583 | 0.060 | 0.036 |

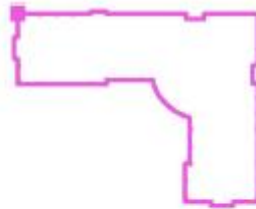
Рисунок 2.4 – Графическое изображение распределения освещенности по рабочей поверхности на первом этаже



Значения в Lux, Масштаб 1 : 680

Не все расчетные данные могут быть представлены.

Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка:
(445.054 m, 252.536 m, 0.800 m)

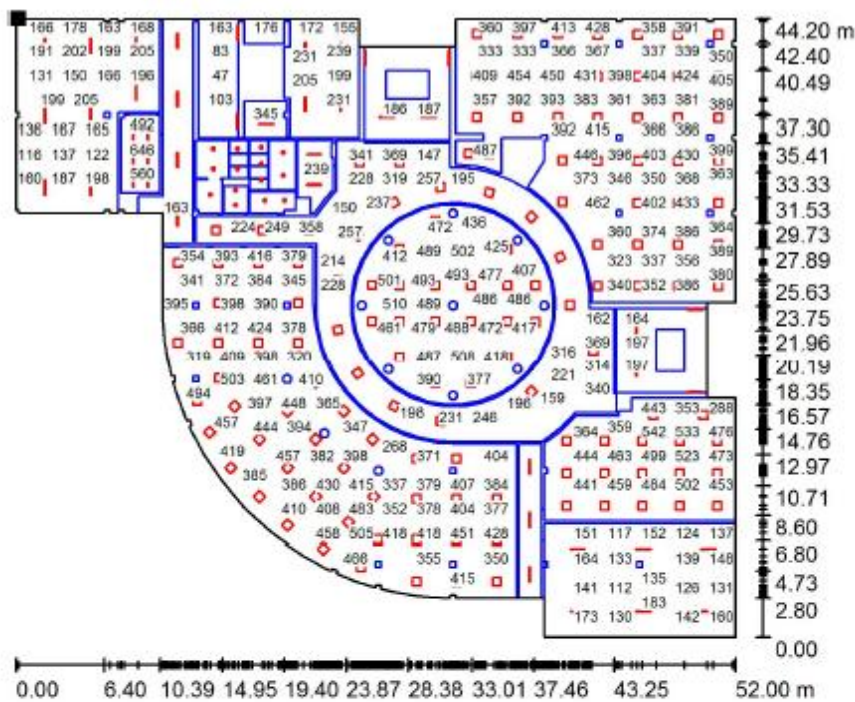


Растр: 128 x 128 Точки

| E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_{cp} | E_{min} / E_{max} |
|---------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| 343 | 15 | 598 | 0.043 | 0.025 |

Рисунок 2.5 – Графическое изображение распределения освещенности по рабочей поверхности на втором этаже

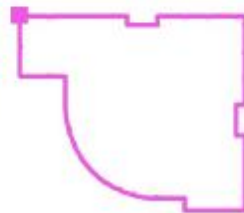
Светильники эвакуационного освещения входят в систему общего освещения и имеют знак, отличающий их от светильников рабочего освещения. Управление эвакуационным освещением входов в здание выполняется централизованно со щита управления эвакуационным освещением из помещения охраны. Эвакуационное освещение предусматривается: в вестибюле, коридорах, обеденном зале, административных помещениях.



Значения в Lux, Масштаб 1 : 500

Не все расчетные данные могут быть представлены.

Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка:
(486.654 m, 133.879 m, 0.800 m)



Растр: 128 x 128 Точки

| E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | $E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$ | $E_{\text{min}} / E_{\text{max}}$ |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 300 | 26 | 653 | 0.087 | 0.040 |

Рисунок 2.6 – Графическое изображение распределения освещенности по рабочей поверхности на третьем этаже

Для объекта проектирования необходимо предусмотреть фасадное освещение. Фасадное освещение необходимо для внешней подсветки здания, чтобы подчеркнуть архитектурные особенности здания, выделить сооружение на фоне других окружающих построек. Оно должно выполняться светильниками со степенью защиты IP 65. В объекте предлагается установить фасадные светильники светодиодные GALAD Победа LED-100-ШБ2/К50. Общий вид и КСС светильника представлены на рисунках 2.7 и 2.8.



Рисунок 2.7 – Общий вид светильника GALAD Победа LED-100-ШБ2/К50

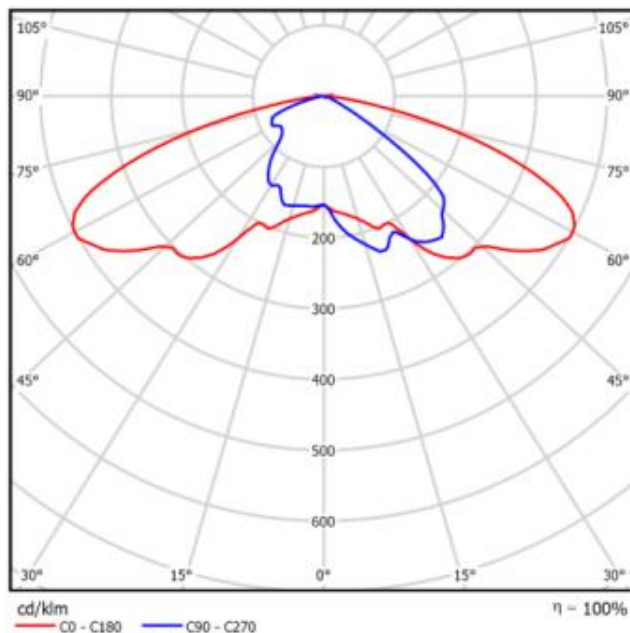


Рисунок 2.8 – Кривая силы света светильника GALAD Победа LED-100-ШБ2/К50

Фасадное освещение выполняется светодиодными светильниками, установленными на высоте 9м от уровня земли. Установка производится на кронштейнах на заранее закладные металлические элементы здания (учитываются на рабочей документации). Управление выполняется от шкафа наружного освещения установленного в электрощитовой.

Управление фасадным освещением автоматическое с возможностью ручного управления из помещения электрощитовой.

Светильники эвакуационного освещения входят в систему общего освещения и имеют знак, отличающий их от светильников рабочего освещения. Управление эвакуационным освещением входов в здание выполняется централизованно со щита управления эвакуационным освещением из помещения охраны. Эвакуационное освещение предусматривается: в вестибюле, коридорах, обеденном зале, административных помещениях.

3 Выбор числа и мощности трансформаторов и компенсирующих устройств

Класс напряжения электрических сетей, к которым осуществляется технологическое присоединение – 10/0,4 кВ. Категория надежности здания – II.

Для приема и распределения электроэнергии на территории торгового центра предусматривается комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа – 10/0,4кВ [3].

Проведем расчет мощности трансформатора по следующему выражению:

$$S_T = \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (3.1)$$

Отсюда получаем:

$$S_T = \frac{504,49}{0,8 \cdot 2} = 315,31 \text{ кВА}$$

Предварительно выбираем количество, мощность [4], марку силовых трансформаторов – 2хТМГ-400/10/0,4 [5]. Данные трансформаторы выбраны в соответствии с рассчитанными выше нагрузками и по категории надежности [6]. Также для технико-экономического сравнения возьмем трансформатор на ступень выше по мощности — 2хТМГ-630/10/0,4.

Таблица 3.1 – Характеристики ТМГ-400 и ТМГ-630

| Трансформатор | ТМГ-400/10/0,4 | ТМГ-630/10/0,4 |
|---------------------|----------------|----------------|
| P_{xx} , кВт | 0,74 | 1 |
| $P_{кз}$, кВт | 6 | 8,2 |
| I_{xx} , % | 1 | 0,5 |
| $U_{кз}$, % | 4,5 | 5,5 |
| Количество, шт. | 2 | 2 |
| Стоимость, тыс. руб | 300 | 350 |

Определим время максимальных потерь по выражению:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{max}}{10000})^2 \cdot 8760 \quad (3.2)$$

где T_{max} – число часов использования максимума нагрузки, ч. Согласно РД 34.20.185-94 [7] для общественных зданий принимается равным 5400 ч.

Отсюда получаем:

$$\tau = (0,124 + \frac{5400}{10000})^2 \cdot 8760 = 3862 \text{ ч}$$

Годовые потери электроэнергии в одном трансформаторе определим по выражению:

$$\Delta W_{\text{общ}} = \Delta P_{\text{xx}} \cdot T \cdot n + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_p}{S_n}\right)^2 \cdot \tau \cdot \frac{1}{n} \quad (3.3)$$

где T – годовое время работы трансформатора, ч.

На примере ТМГ-400 получаем следующие потери в двух трансформаторах:

$$\Delta W_{\text{общ}} = 0,74 \cdot 8760 \cdot 1 + 6 \cdot \frac{504,49}{400}^2 \cdot 1968,16 \cdot \frac{1}{2} = 62791 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Результаты расчетов по формуле (3.3) для трансформаторов занесем в таблицу 3.2.

Издержки определяем по формуле:

$$И = \rho \cdot K + c \cdot \Delta W_{\text{общ}} \cdot 10^{-5} = \rho \cdot K + \left(\frac{\alpha}{T_{\text{max}}} + \beta\right) \cdot \Delta W_{\text{общ}} \cdot 10^{-5} \quad (3.4)$$

где ρ – коэффициент отчислений на амортизацию и обслуживание;

c – стоимость 1 кВт/ч потерь, тыс. руб;

α – основная ставка двухставочного тарифа за 1 кВт договорной мощности;

β – дополнительная ставка двухставочного тарифа за каждый кВт/ч активной энергии, учтенной расчетным счетчиком.

K – капиталовложения, тыс. руб.

Производим расчет на примере ТМГ-400:

$$И = 0,093 \cdot 350 + \left(\frac{270}{3500} + 0,9\right) \cdot 62791 \cdot 10^{-5} = 38,52 \text{ тыс. руб}$$

Далее определим общие затраты для варианта с ТМГ-400 по выражению:

$$З = p_n \cdot K + И \quad (3.5)$$

где p_n – нормативный коэффициент экономической эффективности;

Отсюда получаем:

$$З = 0,12 \cdot 350 + 38,52 = 80,52 \text{ тыс. руб}$$

Расчет затрат трансформатора ТМГ-630 рассчитаем по аналогии с расчетом трансформатора ТМГ-400. Результаты занесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Техничко-экономическое сравнение ТМГ-400 и ТМГ-630

| Трансформатор | ТМГ-400 | ТМГ-630 |
|---------------------------------|----------|----------|
| K_3 | 0,63 | 0,4 |
| T_{\max} , ч | 5400 | 5400 |
| τ , ч | 3862,25 | 3862,25 |
| $\Delta W_{\text{общ}}$, кВт·ч | 62791,41 | 37828,51 |
| И, тыс. руб | 38,52 | 40,79 |
| $p_n \cdot K$, тыс. руб | 42,00 | 48,00 |
| З, тыс. руб | 80,52 | 88,79 |

В результате технико-экономического сравнения мы получили, что трансформатор ТМГ-400 является более выгодным, чем ТМГ-630.

Для компенсации реактивной мощности произведем расчет номинальной мощности и ступени регулирования УКРМ согласно методике [8] и нормам, указанным в [9].

Проведем расчет реактивной мощности, используя выше рассчитанную активную мощность:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.6)$$

$$Q_p = 454,04 \cdot 0,48 = 217,94 \text{ квар}$$

Рассчитаем потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{НН}}}{S_T} \right)^2 \quad (3.7)$$

$$\Delta P_T = 0,74 + 6 \cdot \frac{504,8}{400}^2 = 10,3 \text{ кВт}$$

Приближенно рассчитаем потребляемую полную мощность на шинах НН:

$$S_{\text{НН}} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{кв}})^2} \quad (3.8)$$

$$S_{\text{НН}} = \sqrt{454,04^2 + (217,94 - 217,94)^2} = 454,04 \text{ кВА}$$

Рассчитаем потери реактивной мощности в трансформаторе:

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_T + \frac{S_{HH}^2}{100 \cdot S_T} \sqrt{U_{K3}^2 - \frac{100 \cdot \Delta P_{K3}}{S_T}}^2 \quad (3.9)$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{100} \cdot 400 + \frac{454,04^2}{100 \cdot 400} \sqrt{4,5^2 - \frac{100 \cdot 6}{400}}^2 = 25,86 \text{ квар}$$

Рассчитаем минимально допустимую мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{куmin} = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{max} - \Delta P_T \cdot \operatorname{tg} \varphi_{max} + \Delta Q_T \quad (3.10)$$

$$Q_{куmin} = 454,04 \cdot 0,48 - 0,1 - 10,3 \cdot 0,1 + 25,86 = 197,37 \text{ квар}$$

Рассчитаем максимально допустимую мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{куmax} = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{min} - \Delta P_T \cdot \operatorname{tg} \varphi_{min} + \Delta Q_T \quad (3.11)$$

$$Q_{куmax} = 454,04 \cdot 0,48 - 0 - 10,3 \cdot 0 + 25,86 = 243,8 \text{ квар}$$

Выполним оптимальный подбор УКРМ по выражению:

$$197,37 \leq Q_{куном} \leq 243,8 \quad (3.12)$$

Из выражения 3.7 принимаем АУКРМ 2х0,4-110-15-5

$$S_{HH} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ку})^2} \quad (3.13)$$

$$S_{HH} = \sqrt{454,04^2 + (217,94 - 220)^2} = 454,08 \text{ кВА}$$

Значение S_{HH} практически не отличается от рассчитанного выше.

Определим потери активной мощности в трансформаторе в режиме минимальных нагрузок, приняв $S_{HH} = P_{min}$, так как приближенно считаем, что всю реактивную мощность нагрузки компенсирует УКРМ, по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{K3} \cdot \left(\frac{S_{HH}}{S_T}\right)^2 \quad (3.14)$$

$$\Delta P_T = 0,74 + 6 \cdot \frac{449,6}{400}^2 = 8,32 \text{ кВт}$$

Проведем расчет степени регулирования УКРМ по формуле:

$$Q_{куp} = P_{min} + \Delta P_T \cdot \operatorname{tg} \varphi_{max} - \operatorname{tg} \varphi_{min} \quad (3.15)$$

$$Q_{куp} = 449,6 + 8,32 \cdot 0,1 - 0 = 45,79 \text{ квар}$$

Выбор степени регулирования производим, используя выражение:

$$Q_{куp} \geq Q_{ку ступ} \quad (3.16)$$

По каталогу выбираем АУКРМ 0,4-110-10 (шаг регулирования 10 квар).

Данный расчет необходим, поскольку выбор оборудования для компенсации реактивной мощности частично разрешает вопрос энергосбережения, рассматриваемого в данной ВКР объекта.

Компенсация реактивной мощности позволяет повысить коэффициент мощности, следовательно, повышается доля передаваемой активной мощности потребителю. Также это приводит к снижению нагрузки на электрооборудование, поскольку ток снижается.

4 Расчет токов КЗ

4.1 Расчет токов КЗ выше 1 кВ

По ГОСТ Р 52719-2007 [10] получаем мощность трехфазного КЗ сети с $S_c=500$ МВА. По данному ГОСТ расчеты проводятся в о.е. по формулам приближенного приведения. Зададим $U_6=10,5$ кВ, $S_6=1000$ МВА. Для определения ТКЗ составим расчетную схему и схему замещения, представленные на рисунке 4.1.

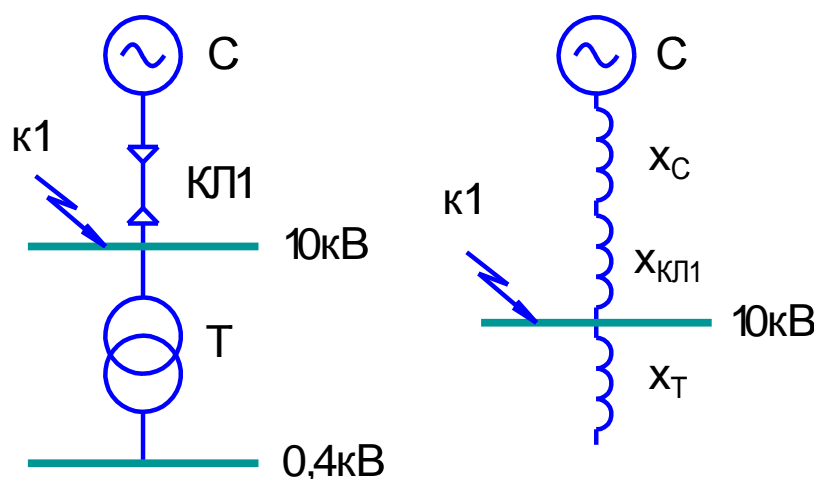


Рисунок 4.1 – Расчетная схема и схема замещения

Рассчитаем ток протекающий от системы до трансформатора ТМГ-400. Воспользуемся следующим выражением:

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (4.1)$$

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ А}$$

Примем кабели с алюминиевыми жилами. Соответственно зная, что $T_{max}=3500$ ч, по [11] получаем экономическую плотность тока $J=1,1$ А/мм². Для определения сечения, воспользуемся следующим выражением:

$$s = \frac{I}{J} \quad (4.2)$$

$$s = \frac{22}{1,1} = 20 \text{ мм}^2$$

По полученному расчету округляем данное сечение до 25 мм². Допустимый длительный ток для кабеля 3x25мм² по таблице 1.3.16 [11] получаем 90 А (при работе одного трансформатора $I=27$ А).

Сопروتивления КЛ рассчитаем по выражению [12]:

$$r_{\text{КЛ1}} = \frac{\rho_{\text{ал}} \cdot l_{\text{КЛ1}}}{s} \quad (4.3)$$

$$r_{\text{КЛ1}} = \frac{0,0315 \cdot 3000}{25} = 3,78 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{КЛ1}} = (0,11451 \lg \frac{2^3 \overline{D_{12} D_{23} D_{31}}}{d} + 0,016) \cdot l_{\text{КЛ1}} \quad (4.4)$$

$$x_{\text{КЛ1}} = (0,11451 \lg \frac{2^3 \overline{100 \cdot 100 \cdot 200}}{\frac{4 \cdot 25}{3,14}} + 0,016) \cdot 3000 = 0,615 \text{ Ом}$$

Переведем сопротивление ВН к ступени НН и получим: $r_{\text{КЛ1}}=5,486 \text{ мОм}$,
 $x_{\text{КЛ1}}=0,892 \text{ мОм}$.

Рассчитаем сопротивление кабельной линии в о.е.:

$$x_{\text{бкл}} = x_{\text{КЛ1}} \frac{S_6}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (4.5)$$

$$x_{\text{бкл}} = 0,615 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 5,576 \text{ о.е.}$$

Определим сопротивление системы в о.е. по выражению:

$$x_{\text{бс}} = \frac{S_6}{S_c} \quad (4.6)$$

$$x_{\text{бс}} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ о.е.}$$

Определим результирующее сопротивление до точки К1 по выражению:

$$x_{\text{брез}} = x_{\text{бс}} + x_{\text{бкл}} \quad (4.7)$$

$$x_{\text{брез}} = 2 + 5,576 = 7,576 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем базисный ток по выражению:

$$I_6 = \frac{S_6}{3U_6} \quad (4.8)$$

$$I_6 = \frac{1000}{3 \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{n0} = \frac{E_6}{x_{\text{брез}}} \cdot I_6 \quad (4.9)$$

$$I_{n0} = \frac{1}{20,588} \cdot 54,986 = 7257 \text{ кА}$$

По таблице 3 ГОСТ Р 52719-2007 [10] получаем $K_{уд}=1,4$, а по следующей формуле рассчитаем ударный ток.

$$i_{уд} = \bar{2}I_{н0}K_{уд} \quad (4.10)$$
$$i_{уд} = \bar{2} \cdot 7257 \cdot 1,4 = 14369 \text{ А}$$

В результате расчетов получаем ударный ток $i_{уд}=14369 \text{ А}$.

Далее необходимо провести расчетов ТКЗ на стороне ниже 1 кВ.

4.2 Расчет токов КЗ ниже 1 кВ

На стороне ниже 1000 В для расчета ТКЗ необходимо учитывать кроме индуктивных сопротивлений так же активные сопротивления элементов системы электроснабжения. На стороне ниже 1000 В выберем расчетные точки КЗ К2, К3, К4. Отметим эти точки на расчетной схеме ТКЗ и схеме замещения представленной на рисунке 4.2.

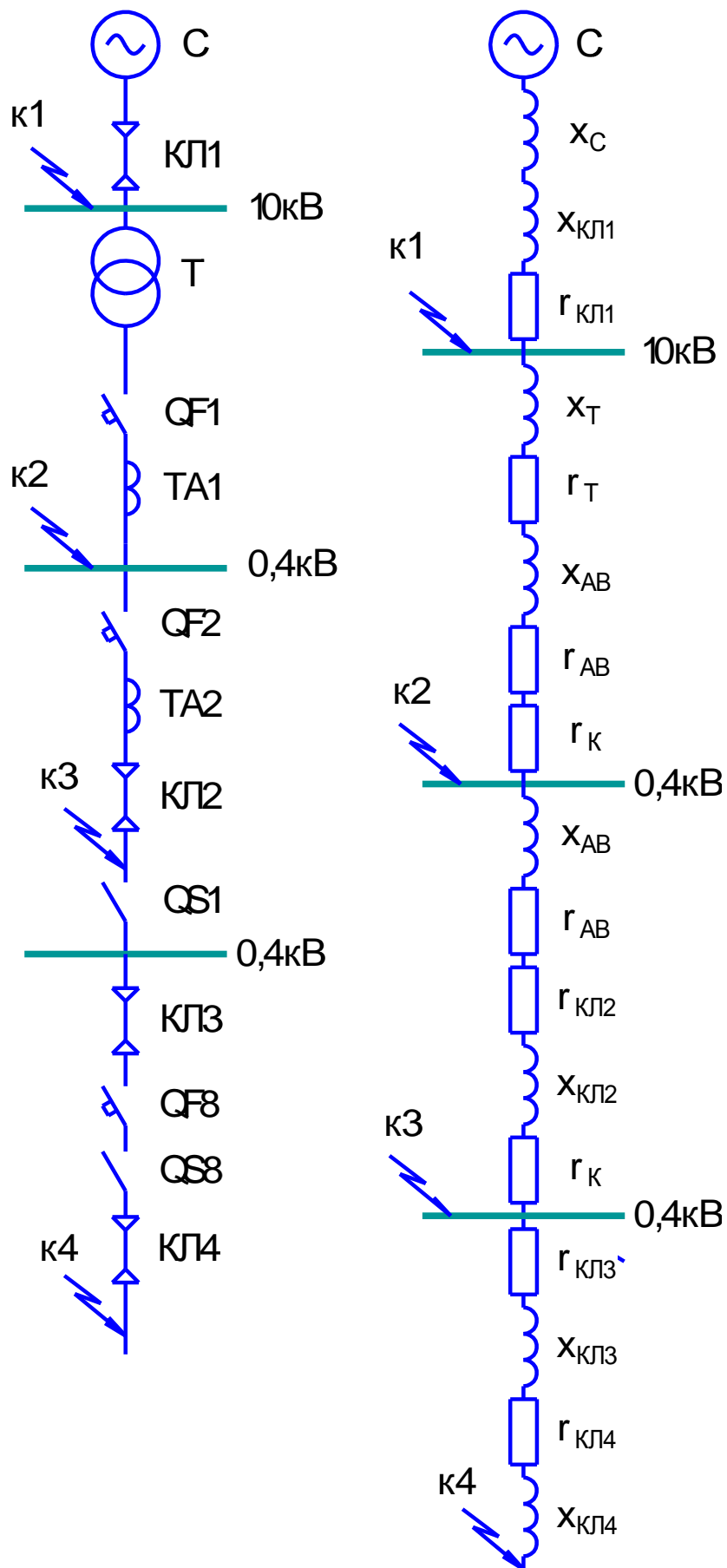


Рисунок 4.2 – Расчетная схема и схема замещения

Расчетная точка К2 выбрана на шинах ТП 10/0,4 кВ со стороны 0,4 кВ.

Выполним расчет ТКЗ согласно методике, представленной в ГОСТ-28249-93 [13]. По выражению 4.1 выполним расчет номинального тока:

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577 \text{ А}$$

По ГОСТ-28249-93 [13] сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{\text{кв}}=0,41$ мОм, $x_{\text{кв}}=0,13$ мОм. По данному ГОСТ п.2.7 активным и индуктивным сопротивлением ТТ можно пренебречь. Активное сопротивление контактов $r_{\text{к}}=0,1$ мОм. Сопротивление автоматического выключателя $r_{\text{ав}}=0,41$ мОм, $x_{\text{ав}}=0,13$ мОм.

Определим сопротивление системы по выражению:

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{с}}} \quad (4.11)$$

$$x_{\text{с}} = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм}$$

Сопротивления ТМГ-400 определим по выражениям:

$$r_{\text{Т}} = \frac{P_{\text{кном}} \cdot U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{тном}}^2} \cdot 10^6 \quad (4.12)$$

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{кном}}}{S_{\text{тном}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{тном}}} \cdot 10^4 \quad (4.13)$$

Отсюда получаем:

$$r_{\text{Т}} = \frac{6 \cdot 0,4^2}{400^2} \cdot 10^6 = 6 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 6}{400}\right)^2} \cdot \frac{10,5^2}{400} \cdot 10^4 = 4,5 \text{ Ом}$$

Проведем расчет общего сопротивления на примере точки К2:

$$r_1 = r_{\text{кл1}} + r_{\text{Т}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ав}} + r_{\text{тт}} \quad (4.14)$$

$$x_1 = x_{\text{кл1}} + x_{\text{Т}} + x_{\text{ав}} + x_{\text{тт}} + x_{\text{с}} \quad (4.15)$$

Отсюда получаем:

$$r_1 = 5,486 + 6 + 0,1 + 0,41 + 0 = 11,996 \text{ мОм}$$

$$x_1 = 0,892 + 4,5 + 0,13 + 0 + 0,32 = 5,842 \text{ мОм}$$

Рассчитаем начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей по выражению:

$$I_{n0} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{3 \cdot (r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)} \quad (4.16)$$

Отсюда получаем:

$$I_{n0} = \frac{0,4}{3 \cdot 10^{-6} \cdot (19,11^2 + 6,999^2)} = 17310 \text{ А}$$

Определим токи остальных точек КЗ по аналогии и занесем в таблицу.

Рассчитаем угол сдвига по фазе напряжения или ЭДС источника и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{x_1}{r_1}\right) \quad (4.17)$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{6,999}{19,11} = 0,453$$

Рассчитаем время от начала КЗ до появления ударного тока по выражению:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi_k}{\pi} \quad (4.18)$$

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 0,085}{3,14} = 6,443 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x}{r \cdot \omega_c} \quad (4.19)$$

$$T_a = \frac{6,999}{19,11 \cdot 314} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

где ω_c – синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с.

Определим ударный коэффициент по выражению:

$$K_{\text{уд}} = \left(1 + \sin \varphi_k \cdot e^{\frac{-t_{\text{уд}}}{T_a}}\right) \quad (4.20)$$

$$K_{\text{уд}} = 1 + \sin 0,351 \cdot 2,71 \frac{-6,443 \cdot 10^{-3}}{1,55 \cdot 10^{-3}} = 1,007$$

Определим ударный ток по выражению:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 11350 \cdot 1,344 = 24650 \text{ А}$$

Расчет К3:

$$r_1 = r_{\text{КЛ1}} + r_{\text{T}} + 2r_{\text{к}} + 2r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}} + 4r_{\text{КЛ2}}$$

$$x_1 = x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{T}} + 2x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_{\text{С}} + 4x_{\text{КЛ2}}$$

$$r_1 = 5,486 + 6 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,41 + 0 + 4 \cdot 0,21 = 13,346 \text{ мОм}$$

$$x_1 = 0,892 + 4,5 + 2 \cdot 0,13 + 0 + 0,32 + 4 \cdot 0,16 = 6,614 \text{ мОм}$$

$$I_{n0} = \frac{0,4}{3 \cdot 10^{-6} \cdot (19,11^2 + 6,999^2)} = 15500 \text{ А}$$

$$\varphi_{\text{к}} = \arctg \frac{6,999}{19,11} = 0,46$$

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 0,085}{3,14} = 6,465 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$T_{\text{а}} = \frac{6,999}{19,11 \cdot 3,14} = 1,577 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$K_{\text{уд}} = 1 + \sin 0,351 \cdot 2,71 \frac{-6,443 \cdot 10^{-3}}{1,55 \cdot 10^{-3}} = 1,007$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 11350 \cdot 1,344 = 22090 \text{ А}$$

Точка К4 рассчитывается по аналогии с предыдущими.

Таблица 4.1 – Результаты расчетов ТКЗ

| № | $U_{\text{срном}}$, кВ | r , мОм | x , мОм | φ | $T_{\text{а}}$, 10^{-3} с | I_{n0} , кА | $K_{\text{уд}}$ | $i_{\text{уд}}$, кА |
|----|-------------------------|--------------|--------------|-----------|---------------------------------|---------------|-----------------|----------------------|
| К1 | 10,5 | - | - | - | - | 7,257 | 1,4 | 14,369 |
| К2 | 0,4 | 11,996 | 5,842 | 0,453 | 1,550 | 17,310 | 1,007 | 24,650 |
| К3 | 0,4 | 13,346 | 6,614 | 0,460 | 1,577 | 15,550 | 1,007 | 22,090 |
| К4 | 0,4 | 14,881 | 6,772 | 0,427 | 1,449 | 0,260 | 1,005 | 0,370 |

5 Выбор оборудования

5.1 Выбор автоматических выключателей

Рассчитаем ток термической стойкости для точки К2 по следующим формулам:

$$B_K = (I_{n0})^2 (T_a + t_{пво}) \quad (5.1)$$

$$B_K = 17,310^2 \cdot 1,55 + 30 \cdot 10^{-3} = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\tau = t_{рз} + t_{сво} \quad (5.2)$$

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

где $t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с.

Максимальное значение аperiodической составляющей тока КЗ определяется по формуле:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (5.3)$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot 17,310 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{1,55}} = 23,703 \text{ кА}$$

Рассчитаем номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{a\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.откл}} \cdot (1 + e^{-22,5\tau}) \quad (5.4)$$

$$i_{a\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 37,467 \text{ кА}$$

где $I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА.

Таблица 5.1 – Расчетные и каталожные данные для выключателя [14]

| Расчетные данные | Каталожные данные |
|---|--|
| $U_{\text{ном}}=0,4 \text{ кВ}$ | $U_{\text{сет.ном}}=0,4 \text{ кВ}$ |
| $I_{\text{max}}=577,35 \text{ А}$ | $I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$ |
| $I_{n0}=17,310 \text{ кА}$ | $I_{\text{ном.откл}}=20 \text{ кА}$ |
| $i_{a\tau}=23,703 \text{ кА}$ | $i_{a.\text{ном}}=37,467 \text{ кА}$ |
| $i_{yd}=24,650 \text{ кА}$ | $i_{\text{прс}}=25 \text{ кА}$ |
| $B_K=9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $B_{K\phi}=10 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

5.2 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока выбираются по следующим параметрам:

- 1) номинальному напряжению ($U_{номq} \leq U_{сет.номq}$);
- 2) номинальному рабочему току ($I_{номq} \leq I_{ном1q}$);
- 3) электродинамической стойкости ($i_{удq} \leq I_{эдн}$);
- 4) термической стойкости ($B_{кq} \leq B_{крq}$);
- 5) конструкции и классу точности;
- 6) вторичной нагрузке ($Z_2 \leq Z_{ном2}$).

Таблица 5.2 – Расчетные и каталожные данные для ТШЛ-СЭЦ-0,66-02

| Расчетные данные | Каталожные данные |
|----------------------------------|----------------------------------|
| $U_{ном} = 0,4$ кВ | $U_{сет.ном} = 0,66$ кВ |
| $I_{max} = 577,35$ А | $I_{ном} = 600$ А |
| $i_{уд} = 24,650$ кА | $i_{прс} = 50$ кА |
| $B_K = 9,588$ кА ² ·с | $B_{К6} = 30$ кА ² ·с |

В качестве трансформатора тока на КТП установлены ТШЛ-СЭЦ-0,66-02 со параметрами, приведенными в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Параметры ТШЛ-СЭЦ-0,66-02

| Наименование параметра | Значение параметра |
|---|--------------------|
| Номинальный первичный ток, А | 600 |
| Наибольший рабочий первичный ток, А | 630 |
| Номинальный вторичный ток, А | 5 |
| Номинальная вторичная нагрузка, При $\cos\varphi = 0,8$ ВА | 20 |
| Класс точности | 0,2 |

Составим таблицу вторичной нагрузки трансформатора тока.

Таблица 5.4 – Вторичная нагрузка трансформатора тока ТШЛ-СЭЩ-0,66-02

| Прибор | Тип | Нагрузка, ВА, фазы | | |
|---------------------------|----------|--------------------|---|-----|
| | | А | В | С |
| Амперметр | Э-335 | 0,5 | - | - |
| Ваттметр | Д-335 | 0,5 | - | 0,5 |
| Варметр | | | | |
| Счетчики активной энергии | САЗ-И670 | 2,5 | - | - |
| Итого | | 3,5 | - | 0,5 |

По таблице 5.4 наибольшая нагрузка приходится на трансформатор фазы А. Общее сопротивление приборов фазы А:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{\text{ном2}}^2} \quad (5.5)$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$I_{\text{ном2}}$ – вторичный ток трансформатора тока.

Отсюда получаем:

$$R_{\text{приб}} = \frac{3,5}{5^2} = 0,14 \text{ Ом.}$$

Номинальное полное сопротивление нагрузки рассчитывается по каталожным данным по формуле:

$$Z_{\text{ном2}} = \frac{S_{\text{ном2}}}{I_{\text{ном2}}^2} \quad (5.6)$$

где $S_{\text{ном2}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформатора, выраженная через полную мощность, которая берется из каталога, ВА;

Отсюда получаем:

$$Z_{\text{ном2}} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}$$

Рассчитаем сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{\text{ном2}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} \quad (5.7)$$

где $R_{\text{к}}=0,1$ – переходное сопротивление контактов, Ом.

Отсюда получаем: $R_{\text{пр}} = 0,8 - 0,14 - 0,1 = 0,56 \text{ Ом}$.

Длину проводов примем 0,5 м. Тогда для неполной звезды получаем расчетную длину 0,87 м. Рассчитаем сечение проводов по следующей формуле:

$$S = \frac{\rho \cdot l_{\text{р}}}{R_{\text{пр}}} \quad (5.8)$$

где $\rho=0,027$ – удельное сопротивление алюминиевых соединительных проводов, Ом·мм²/м.

$$\text{Отсюда получаем: } S = \frac{0,027 \cdot 0,5}{0,56} = 0,024 \text{ мм}^2.$$

В результате принимаем стандартное сечение 4 мм².

5.3 Выбор разъединителей

Разъединители выбираются по следующим параметрам:

- 1) номинальному напряжению ($U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$);
- 2) номинальному току ($I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}}$);
- 3) электродинамической стойкости ($i_{\text{уд}} \leq i_{\text{нрс}}$);
- 4) термической стойкости ($B_{\text{к}} \leq B_{\text{кр}}$);

Поскольку $I_{\text{ном}}=557 \text{ А}$, который протекает от КТП до ВРУ-1, то выберем разъединитель на QS-1 и QS-2 на 630 А. По термической и электродинамической стойкости расчет проводится по аналогии с расчетом автоматических выключателей:

$$B_{\text{к}} = 17,310^2 \cdot 1,55 + 30 \cdot 10^{-3} = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$I = \frac{400}{3 \cdot 0,4} = 577 \text{ А}$$

Остальные разъединители выберем по аналогии и покажем их на схеме ВРУ-1.

Таблица 5.5 – Данные для рубильника трехполюсного Р36

| Расчетные данные | Каталожные данные |
|--------------------------------|---------------------------------|
| $U_{ном}=0,4$ кВ | $U_{сет.ном}=0,66$ кВ |
| $I_{max}=577,35$ А | $I_{ном}=630$ А |
| $i_{yd}=24,650$ кА | $i_{nrc}=40$ кА |
| $B_K=9,588$ кА ² ·с | $B_{K6}=256$ кА ² ·с |

5.4 Выбор кабелей

Исходя из значения номинально тока полученного в выражении 4.1 на стороне 10 кВ принимаем кабель марки АВББШв 3х25. Данный кабель имеет алюминиевые токопроводящие жилы, заключенные в поливинилхлоридную изоляцию, имеет стальную броню. Кабель снабжен защитным кожухом из выпрессованного материала ПВХ с добавлением вязкой клеевой смеси и битума.

По аналогии с вышеприведенными расчетами, выберем по 4 кабеля для прокладки на ВРУ-1 и ВРУ-2 АПвВнг(А)-LS 3х150, который имеют алюминиевые токопроводящие жилы, изоляцию жил из сшитого полиэтилена, изоляцию жил и оболочку из поливинилхлоридного пластиката пониженной горючести с пониженным газодымовыделением, с категорией по исполнению в части показателей пожарной безопасности А. Исполнение нг(А)-LS выбрано согласно ГОСТ 31565-2012 [15].

Необходимо, чтобы кабели выдерживали, помимо нагрузок потребителей, также и объем горючей нагрузки и сохраняли работоспособность в условиях пожара, поэтому, согласно таблице 2 ГОСТ 31565-2012 [15] принимается кабели с типом исполнения нг(А)-FRHF. Для прокладки кабелей внутри помещений выберем кабель марки ППГнг(А)-FRHF. Данный кабель имеет медные токопроводящие жилы, изоляцию жил и оболочку из полимерных композиций с отсутствием галогенов (HF), без защитного покрова, не поддерживающий горе-

ния, огнестойкий, поскольку имеет термический барьер из слюдосодержащих лент.

Остальные кабели для прокладки внутри помещения к электроприемникам также выбраны марки ППГнг(А)-FRHF.

Выбор автомата проведем по мощности нагрузки и сечению провода, согласно методике [16].

Таблица 5.6 – Выбор кабелей и АВ на ВРУ-1 и ВРУ-2

| Потребитель | Длина | P_y | I_p | $s_p, \text{мм}^2$ | $s, \text{мм}^2$ | АВ |
|-------------|-------|-------|-------|--------------------|------------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ЩО1.1 | 30 | 5,8 | 9,10 | 4,33 | 5x6 | 3pC40A |
| ЩО1.2 | 40 | 5,8 | 9,10 | 4,33 | 5x6 | 3pC40A |
| ЩО1.3 | 80 | 5,2 | 8,16 | 3,88 | 5x4 | 3pC32A |
| ЩО2.1 | 50 | 7,3 | 11,45 | 5,45 | 5x6 | B40 |
| ЩО2.2 | 50 | 5,6 | 8,79 | 4,18 | 5x6 | B40 |
| ЩО2.3 | 30 | 6,1 | 9,57 | 4,56 | 5x6 | B40 |
| ЩО3.1 | 60 | 5,8 | 9,10 | 4,33 | 5x6 | B40 |
| ШНО | 70 | 7,4 | 12,57 | 5,98 | 5x6 | 3pC40A |
| ЩВ1.1 | 30 | 16,7 | 26,78 | 12,75 | 5x16 | 3pC63A |
| ЩВ2.1 | 40 | 0,9 | 1,44 | 0,69 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ЩВ3.2 | 80 | 24,3 | 38,97 | 18,56 | 5x25 | 3pC80A |
| ЩВ3.3 | 30 | 19,7 | 31,59 | 15,04 | 5x16 | B63 |
| ЩК3.2 | 70 | 39,5 | 70,39 | 33,52 | 5x35 | 3pC100A |
| ЩК2.1 | 60 | 6,4 | 11,40 | 5,43 | 5x6 | B40 |
| ЩК3.1 | 40 | 40,3 | 71,81 | 34,20 | 5x35 | B100 |
| ЩК3.3 | 6 | 33,6 | 59,87 | 28,51 | 5x35 | B100 |

Продолжение таблицы 5.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|----|-----|-------|------|-------|--------|
| ЩР1.1 | 15 | 7,3 | 10,98 | 5,23 | 5x6 | 3pC40A |
| ЩР2.1 | 30 | 3 | 4,51 | 2,15 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ЩР3.1 | 40 | 3 | 4,51 | 2,15 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ПД1 | - | 4 | 7,20 | 3,99 | 5x4 | 3pC32A |
| ПД2 | - | 4 | 7,20 | 3,99 | 5x4 | 3pC32A |
| ПД3 | - | 3 | 5,40 | 2,99 | 5x4 | 3pC32A |
| ПД4 | - | 5,5 | 9,80 | 5,43 | 5x6 | 3pC40A |
| ПД5 | - | 3 | 5,40 | 2,99 | 5x4 | 3pC32A |
| ПД6 | - | 4 | 7,20 | 3,99 | 5x4 | 3pC32A |
| ПД7 | - | 1,5 | 2,60 | 1,44 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ПД8 | - | 5,5 | 9,80 | 5,43 | 5x6 | 3pC40A |
| ПД9 | - | 3 | 5,40 | 2,99 | 5x4 | 3pC32A |
| ПД1 лифт | - | 1,1 | 1,80 | 1,00 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ПД1 ЗБ | - | 4 | 6,80 | 3,77 | 5x4 | 3pC32A |
| ВД1 | - | 7,5 | 13,40 | 7,42 | 5x10 | 3pC50A |
| ВД2 | - | 5,5 | 9,80 | 5,43 | 5x6 | 3pC40A |
| ВД3 | - | 3 | 5,30 | 2,93 | 5x4 | 3pC32A |
| ВД4 | - | 7,5 | 13,40 | 7,42 | 5x10 | 3pC50A |
| ВД5 | - | 3 | 5,30 | 2,93 | 5x4 | 3pC32A |
| ВД6 | - | 7,5 | 13,40 | 7,42 | 5x10 | 3pC50A |
| ВД7 | - | 5,5 | 9,80 | 5,43 | 5x6 | 3pC40A |
| ВД8 | - | 3 | 5,30 | 2,93 | 5x4 | 3pC32A |
| ВД9 | - | 3 | 5,30 | 2,93 | 5x4 | 3pC32A |

Продолжение таблицы 5.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------|-----|------|-------|-------|-------|--------|
| ВД10 | - | 5,5 | 9,80 | 5,43 | 5x6 | 3pC40A |
| ВД11 | - | 5,5 | 9,80 | 5,43 | 5x6 | 3pC40A |
| ЩАО1.1 | 15 | 2,4 | 9,80 | 4,91 | 5x6 | 3pC40A |
| ЩАО2.1 | 30 | 0,7 | 1,10 | 0,55 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ЩАО3.1 | 40 | 1,1 | 1,70 | 0,85 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ШУЛ1 | 74 | 9,5 | 22,20 | 16,26 | 5x25 | 3pC80A |
| ШУЛ2 | 72 | 9,5 | 22,20 | 16,26 | 5x25 | 3pC80A |
| ШУЛ3 | 62 | 9,5 | 22,20 | 16,26 | 5x25 | 3pC80A |
| ШУЛ4 | 63 | 9,5 | 22,20 | 16,26 | 5x25 | 3pC80A |
| ЩРСерв | 77 | 3 | 4,33 | 2,17 | 5x2,5 | 3pC25A |
| ЩПС | 30 | 2 | 9,50 | 4,76 | 3x6 | 3pC40A |
| ЩОС | 30 | 2 | 9,50 | 4,76 | 3x6 | 3pC40A |
| КНС | 10 | 11 | 20,80 | 12,38 | 5x15 | 3pC63A |
| БУ-Оч.Волна | 10 | 3 | 17,50 | 10,42 | 3x15 | 3pC63A |
| Насос ХВС | 40 | 0,37 | 0,62 | 0,32 | 3x2,5 | 3pC25A |
| ИТП | 40 | 5 | 8,20 | 4,11 | 5x6 | 3pC40A |
| ШСН-1 | 10 | 2,1 | 4,90 | 2,92 | 5x4 | 3pC32A |
| ШСН-2 | 140 | 3,1 | 4,90 | 2,46 | 5x2,5 | 3pC25A |

6 Расчет сопротивления заземляющего устройства и молниезащита

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_{\text{верт}} = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T+L}{4T-L} \right) \quad (6.1)$$
$$R_{\text{верт}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3}{0,018} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} = 32,8 \text{ Ом}$$

где ρ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

L – длина вертикального электрода, м;

d – диаметр вертикального электрода, м;

T – заглубление – расстояние от поверхности земли до заземлителя, м.

Сопротивление горизонтального электрода:

$$R_{\text{гор}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{гор}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гор}}^2}{bh}$$
$$R_{\text{гор}} = \frac{100}{2\pi \cdot 336} \cdot \ln \frac{2 \cdot 336^2}{0,05 \cdot 0,5} = 0,76 \text{ Ом}$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

b – ширина полосы горизонтального электрода, м;

h – глубина заложения горизонтальной сетки, м;

$L_{\text{гор}}$ – длина горизонтального электрода, м.

Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{\text{зу}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{k_{\text{исп}i} n_i}{R_i}}$$

где n – количество комплектов;

$k_{\text{исп}}$ – коэффициент использования.

$$R_{\text{зу}} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,69}{32,8} + \frac{1 \cdot 0,69}{0,76}} = 0,7 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства составляет 0,7 Ом.

Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S.

Тип системы заземления в распределительных и групповых сетях – TN-S.

Разделение PEN проводника на N и PE выполнено в щите ВРУ.

Все металлические нетоковедущие части электрооборудования (каркасы щитов, стальные трубы электропроводки, металлические кабельные лотки и

т.п.) подлежат заземлению путем металлического соединения с заземляющим проводом сети.

В качестве защитных проводников используются жилы многожильных кабелей (PEN и PE-проводники кабелей питающей и распределительной сети).

В технологических помещениях (тепловой пункт, доготовочная, электрощитовая, лифтовые шахты) устроить контуры защитного заземления из металлической полосы 25x4 на высоте 400мм от уровня пола. Контуры помещения доготовочной присоединить к ГЗШ технологического щита медным проводником сечением 25 кв.мм, а остальные помещения к внешнему контуру заземления стальной полосой 5x40мм.

В соответствии с «Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003 [17] здание торгового центра относится к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля здания плоская. В качестве молниеприемника применить молниеприемную сетку из полосовой стали 25x4, расположенной на кровле. Молниеприемную сетку уложить под слоем несгораемого утеплителя и гидроизоляции. Шаг ячеек сетки не должен превышать 10x10м (СП 31.110-2003 [1], таблица 3.8). Узлы сетки соединить сваркой. Стальные полосы сетки должны проходить по краю крыши.

Сетку выполнить таким образом, чтобы ток молнии имел всегда, по крайней мере, два различных пути к заземлителю. Никакие металлические части не должны выступать за внешние контуры сетки. Выступающие над крышей металлические элементы (трубы, венткороба, антенны, рекламные щиты и т.д.) подлежат присоединению к металлической молниеприемной сетке.

Токоотводы от молниеприемной сетки до наружного контура заземления выполнить из полосовой стали 5x20 мм и проложить равномерно по периметру наружных стен под фасадом с шагом не более 20м. Рекомендуется размещать токоотводы на максимально возможных расстояниях от дверей и окон. Токоотводы прокладываются по прямым вертикальным линиям, так чтобы путь до

земли был по возможности кратчайшим. В качестве заземляющего устройства используются искусственные заземлители: вертикальный (сталь круглая диаметром 18 мм, длина 3 м) и горизонтальный (полоса стальная 5x40 мм).

Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Комплекс мероприятий по обеспечению необходимых требований к наружному заземляющему устройству торгового центра представлен следующими решениями:

- В местах опусков токоотводов, выполняется установка 25 электродов заземления длиной 3м, диаметром 18мм;
- Расстояние между электродами не более 20м. Электроды соединяются с объектом стальной полосой 5x40мм;
- Глубина заложения полосы 0.5-0.7 м.

7 Расчет отопления и вентиляции

Максимальный годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_{\text{год}}^{\circ} = 0,024g_0V(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})z \quad (7.1)$$

где g_0 – удельная отопительная характеристика здания, кВт/(м³·°C);

$t_{\text{вн}}$ – внутренняя расчетная температура внутри помещения (определена усреднено исходя из ГОСТ 30494-2011 [18]);

$t_{\text{нар}}$ – расчетная температура наружного воздуха (принимается -27°C);

z – продолжительность отапливаемого периода сут/год.

Рассчитаем удельную отопительную характеристику здания по формуле:

$$g_0 = \frac{a\omega}{6\sqrt{V}} \quad (7.2)$$

$$g_0 = \frac{2,4 \cdot 1,08}{6 \cdot 96000} = 0,38 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

где a – постоянный коэффициент, зависящий от типа строительства;

ω – коэффициент, учитывающий климатические условия.

Отсюда получаем:

$$Q_{\text{год}}^{\circ} = 0,024 \cdot 0,37 \cdot 96000 \cdot 20 + 27 \cdot 140 = 5609 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$$

Максимальный годовой расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_{\text{год}}^{\text{в}} = g_{\text{в}}V(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})z \quad (7.3)$$

где $g_{\text{в}}$ – удельная вентиляционная характеристика здания (по справочным данным или расчету), кВт/(м³·°C);

V – объем здания (корпуса) по наружным размерам, м³;

$t_{\text{вн}}$ – температура внутри помещения принимается по СНиП 2.04.05-91 [19] в зависимости от функционального назначения здания (корпуса), °C;

z – продолжительность отапливаемого периода сут/год.

По данному СНиПу $t_{\text{нар}}$ для расчета системы отопления и вентиляции принимается одного и того же значения.

Рассчитаем удельную вентиляционную характеристику здания по формуле, используя СП 50.13330.2012 [20]:

$$g_{\text{в}} = 0,28cn_{\text{в}}\beta\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}(1 - k_{\text{эф}}) \quad (7.4)$$

$$g_{\text{в}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,439 \cdot 0,85 \cdot 1,31 \cdot (1 - 0) = 0,137 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, равная $1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$;

β – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций;

$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности рекуператора;

$n_{\text{в}}$ – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч^{-1} .

Отсюда получаем:

$$Q_{\text{год}}^{\text{в}} = 0,024 \cdot 0,137 \cdot 96000 \cdot 47 \cdot 140 = 2077 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год} \quad (7.5)$$

Общие теплотери здания за отопительный период составляют $7686 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$.

Для управления электродвигателями вентиляторов общеобменной (вытяжной) вентиляции [21] предусматриваются ящики управления, которые устанавливаются в венткамерах и обслуживаемых помещениях, либо через пускатели в щитах вентиляции. Управление электродвигателями: местное – кнопками управления по месту; автоматическое или дистанционное из помещения охраны.

Для вытяжной вентиляции, тепловых завес проектом предусматривается их автоматическое отключение при возникновении пожара с использованием независимого расцепителя и автоматического выключателя на вводе щита вентиляции.

В приточных системах при пожаре отключаются вентиляторы, насосы отопительной воды в этих установках отключению не подлежат.

Защита отходящих распределительных и групповых линий от токов к.з. предусматривается автоматическими выключателями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной ВКР спроектирована система электрооборудования и электрохозяйства торгового центра. Порядок расчета был проведен по методике [22].

При проектировании первым шагом был расчет электрических нагрузок торгового центра. Электроприемники были разделены на соответствующие группы, которые подключались к щитам, приведенные в таблице 1.1. К данным щитам выбраны соответствующие кабели и автоматы, приведенные в таблице 5.6.

Далее по рассчитанным нагрузкам была проведена компенсация реактивной мощности с использованием УКРМ, для повышения коэффициента мощности, а также для снижения затрат на электрооборудование торгового центра, которое было рассчитано в последующих пунктах.

Получив итоговые нагрузки, был проведен выбор трансформаторов с учетом категории надежности данного общественного здания. Для приема и распределения электроэнергии на территории торгового центра была принята комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа – 10/0,4кВ с двумя трансформаторами ТМГ-400.

Затем был проведен расчет токов короткого замыкания, который был определяющим для выбора электрооборудования, которое обеспечивает надежность электроснабжения, электробезопасность, а также пожарную безопасность торгового центра. Выбранное электрооборудование рассмотрено в пункте 5. Была проведена проверка выключателей, установленных на КТП, были проверены трансформаторы тока, проведена расчетная проверка разъединителей, а также выбраны кабели и соответствующие автоматы, относящиеся к каждому щиту, к которым подключаются электроприемники.

Проведен расчет заземления и молниезащиты общественного здания. Все расчеты и мероприятия, указаны в пункте 6.

Заключительным пунктом был проведен расчет отопления и вентиляции торгового центра, который представлен в пункте 7.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. РФ. Госстрой России. СП31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий : утв. приказом №194 от 26.10.2013. М., 2003. 55 с.
2. РФ. Стандартиформ. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий : утв. приказом №1364-ст от 08.11.2013. М., 2013. 20 с.
3. Gonen T. Electric Power Distribution System Engineering, 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2007. 856 p.
4. Sheldrake A.L. Handbook of Electrical Engineering. Hoboken : Wiley, 2003. P. 131.
5. Winders J.J. Power Transformers: Principles and Applications. New York : Marcel Dekker, 2002. 286 p.
6. Brown R.E. Electric Power Distribution Reliability (Power Engineering (Willis)), 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2008. 504 p.
7. РФ. Энергоатомиздат. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей : утв. приказом №213 от 07.07.1994. М., 1994, 49 с.
8. Компенсация реактивной мощности: расчет мощности и выбор ступени регулирования конденсаторной батареи [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL: <http://blog.avralsoft.ru/kompensatsiya-reaktivnoy-moshhnosti-raschet-moshhnosti-i-vyibor-stupeni-regulirovaniya-kondensatornoy-batarei.html> (дата обращения: 22.04.2018).
9. Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии».
10. РФ. Стандартиформ. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. М., 2007. 45 с.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.
12. Активные и индуктивные сопротивления линии [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL: https://www.websor.ru/aktivnj_i_induktivnje_soprotivleniya.html (дата обращения: 22.04.2018).
13. РФ. Издательство стандартов. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ : утв. приказом от 21.10.1993. М., 1994. 66 с.
14. ЗАО Группа компаний Электрощит ТМ – Самара [Электронный ресурс]. URL: <http://electroshield.ru/> (дата обращения: 16.04.2018).
15. РФ. Стандартиформ. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности : утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. М., 2012. 12 с.
16. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL: <https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 22.04.2018).
17. РФ. Минэнерго России. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : утв. приказом №280 от 30.06.2003. М., 2003. 29 с.
18. РФ. Стандартиформ. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: утв. приказом №191-ст от 12.07.2012. М., 2011. 15 с.
19. РФ. Госстрой России. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляции и кондиционирование : утв. приказом №18-11 от 15.05.1997. М., 1999. 71 с.
20. РФ. Минрегион России. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : утв. приказом №265 от 30.06.2012. М., 2012. 139 с.
21. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 4th Edition. London : Newnes, 2013. 440 p.