

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения торгового центра

Обучающийся

Д.С. Телегин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

В работе рассматривались вопросы проектирования системы электроснабжения торгового центра. Был произведён расчёт нагрузок, установленных внутри торгового центра, определены расчетные мощности по узлам питания и в целом по центру.

Выбраны источники света для применения в системе внутреннего искусственного освещения, произведена расстановка светильников на плане торгового центра и определены нагрузки системы внутреннего искусственного освещения как по отдельным помещениям, так и в целом по торговому центру.

Произведён выбор количества и номинальной мощности силовых трансформаторов для установки в трансформаторной подстанции, от которой получает питание торговый центр. Определены годовые потери мощности в трансформаторах подстанции. Произведён обоснованный выбор проводников и коммутационных аппаратов, используемых в системе внутреннего электроснабжения торгового центра, выполнен расчёт токов короткого замыкания, проведена проверка коммутационной способности автоматических выключателей.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки, выполненной в объеме 49 страниц, включает в себя 6 графических рисунка и 13 таблиц с результатами расчётов и техническими параметрами выбираемого оборудования. Графическая часть работы представлена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика торгового центра.....	5
2 Определение расчётной электрической нагрузки от силовых электроприемников торгового центра	7
3 Определение электрических нагрузок системы внутреннего освещения....	10
4 Определение номинальной мощности силовых трансформаторов, устанавливаемых на комплектной трансформаторной подстанции, питающей ТЦ.....	15
5 Определение сечений проводников во внутренней системе электроснабжения торгового центра.....	21
6 Определение максимальных значений токов короткого замыкания в расчётных точках	27
7 Выбор и проверка электрических аппаратов, устанавливаемых во внутренней системе электроснабжения.....	37
7.1 Выбор автоматических выключателей	37
7.2 Выбор и проверка рубильника.....	41
7.3 Выбор и проверка плавких предохранителей	43
Заключение	45
Список используемых источников.....	47

Введение

При проектировании современной системы электроснабжения необходимо учитывать не только нормы проектирования и требования по обеспечению безопасности обслуживающего персонала, но и требования, диктуемые как самим заказчиком, так и экономической целесообразностью. Современные системы электроснабжения должны обеспечивать заданную надёжность электроснабжения питаемых от неё потребителей, качество передаваемой электрической энергии, минимальные потери при транспортировке электрической энергии и её трансформации в силовых трансформаторах, быть удобной в эксплуатации, долговечной и способной к последующей модернизации. На принимаемые в ходе проектирования технические решения влияют назначение самой системы электроснабжения, особенности электрифицированного технологического процесса и рода деятельности предприятия, а также местных условий эксплуатации, наличие существующих источников питания и требований, предъявляемых заказчиком к конечному результату.

Грамотно выполненный проект системы электроснабжения позволяет не только обеспечить электроэнергией потребителей с заданными требованиями к надёжности электроснабжения, но и снизить затраты на ввод в эксплуатацию системы электроснабжения за счёт обоснованного выбора сечений проводников, мощности питающих трансформаторов и номинальных токов выбираемых автоматических выключателей. В системе электроснабжения торгового центра особенно важную роль играют меры по обеспечению электрической безопасности не только специализированного персонала, но и обычных потребителей которые могут с ней контактировать.

Целью бакалаврской работы является обоснованный выбор всех элементов внутреннего электроснабжения торгового центра, направленный на обеспечение надёжного электроснабжения потребителей при минимуме затрат на строительство и эксплуатацию системы электроснабжения.

1 Краткая характеристика торгового центра

Объектом проектирования, который рассматривается в данной бакалаврской работе является торговый центр, обеспечивающий продажу населению как продуктов питания, так и широкого спектра непродовольственных товаров, средств бытовой химии, одежды, постельных принадлежностей, посуды и т.д.

Торговый центр находится в городе Тольятти и его план расположения показан на рисунке 1 из которого видны не только геометрические размеры торгового центра, но и прилегающая стоянка для транспорта посетителей, а также зона погрузки и разгрузки грузового автотранспорта.



Рисунок 1 – План расположение торгового центра на карте местности

Среди электроприемников торгового центра есть как трёхфазные, работающие от напряжения 380 В, так и однофазные электроприёмники, работающие на напряжении 220 В.

Среди потребителей торгового центра значительную группу составляют электроприемники первой категории, при этом среди них выделяется часть наиболее ответственных электроприемников, которые получают питание через источники бесперебойного питания. К таким электроприемникам относятся электроприёмники контрольно-кассового оборудования, электронные измерители веса, компьютерная техника, системы сигнализации, причём как охранной, так и противопожарной, различные виды специального освещения, включая эвакуационное и аварийное, электроприёмники, обеспечивающие охрану и соблюдение режима доступа, а также хранение и перемещение денежных средств.

В основную группу электроприемников первой категории по надежности электроснабжения питание которых обеспечивается от 2 независимых источников питания с автоматическим включением резерва входят холодильные установки, системы автоматического пожаротушения и удаления газов, система аварийного освещения и 50% рабочего освещения для создания безопасных условий эвакуации посетителей в случае аварийной ситуации.

Выводы по разделу.

Суммарная установленная мощность расположенных в торговом центре электроприемников составляет 1667,5 кВт, при этом расчётное значение нагрузки равно 1181,2 кВт. Суммарное потребление электрической энергии по данным расчётных счётчиков за годовой интервал времени в последнем расчётном периоде составило 6496600 кВт·ч.

2 Определение расчётной электрической нагрузки от силовых электроприемников торгового центра

Для расчёта электрических нагрузок от силовых электроприемников используя методику, изложенную в своде правил СП 31-110-2003 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа [14].

При известной мощности устанавливаемых электроприемников суммарная расчётная мощность группы находится путём умножения мощности 1 электроприемников на их количество и на коэффициент спроса:

$$P_{расч} = P_1 \cdot n_1 \cdot k_c, \quad (1)$$

где P_1 – значение активной мощности для одного электроприемников;

n_1 – количество одинаковых по мощности электроприемников в группе;

k_c – справочное значение коэффициента спроса для данного типа электроприемников [18].

$$P_{расч} = 0,06 \cdot 360 \cdot 0,25 = 5,4 \text{ кВт}.$$

По справочному значению коэффициента реактивной мощности $\cos \varphi$ для данной группы электроприемников определяется значение $\operatorname{tg} \varphi$, которое затем используется при вычислении реактивной мощности, потребляемой данным электроприемником. В качестве примера покажем расчёт для подсветки системы хранения:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos(\varphi)), \quad (2)$$

где $\cos \varphi = 0,96$ – справочное значение коэффициента мощности для подсветки системы хранения,

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,292$$

Реактивную мощность группы электроприемников находим на примере розеточной сети:

$$Q_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (3)$$

$$Q_{\text{расч}} = 9,1 \cdot 0,28 = 2,5 \text{ квар.}$$

По найденным значениям активной и реактивной мощности, определяем расчётное значение полной мощности $S_{\text{расч}}$ как корень квадратный из суммы квадратов [8]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (4)$$

$$S_p = \sqrt{999,5^2 + 690,9^2} = 1215,1 \text{ кВА.}$$

Значение расчётного тока $I_{\text{расч}}$ находим путём деления полученного значения полной расчётной на корень из трёх и номинальное линейное значение напряжения:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38}. \quad (5)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{1215,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1846,2 \text{ А.}$$

Результаты определения расчётных нагрузок сводим в таблицу 2.

Выводы. Приведена методика определения расчётных электрических нагрузок от силовых электроприемников, показан пример расчета для отдельных групп потребителей и определены суммарные нагрузки по торговому центру.

Таблица 2 – Результаты определения расчётных нагрузок для отдельных групп потребителей по торговому центру

Наименование группы ЭП	$N, шт$	$P_{уст}, кВт$	k_c	$P_{расч}, кВт$	$Q_{расч}, кВт$	$\cos \varphi$	$S_{расч}, кВА$	$I_{расч}, А$
Система общего внутреннего освещения	1	49,34	0,85	41,94	14,8	0,96	51,5	74,3
Подсветка системы хранения	1	9,1	0,80	7,3	2,1	0,96	7,6	11,5
Декоративное наружное освещение ТЦ	1	10	0,60	6,0	1,8	0,96	6,3	9,5
Общая розеточная сеть торгового центра	360	0,06	0,25	5,4	4,1	0,8	6,8	10,3
Компьютерное и электронное оборудование	1	104,4	0,50	52,2	39,2	0,8	65,3	99,1
Технологические электроприемники второго этажа	1	115,85	0,50	57,93	28,1	0,9	64,4	92,9
Технологические электроприемники первого этажа	1	490,25	0,50	245,1	118,7	0,9	272,3	413,8
Электродвигатели компрессорной станции	1	80	0,75	60	52,9	0,75	80	121,5
Электродвигатели компрессорной станции	1	300	0,75	225	198,4	0,75	300	455,8
Системы промывки	1	20	0,30	6	4,5	0,8	7,5	11,4
Вентиляционное оборудование	1	55,2	0,70	38,6	29	0,8	48,3	73,4
Климатические системы и системы нагрева воздуха	1	316	0,70	221,6	195,1	0,75	294,9	448,1
Система контроля доступа и обеспечения безопасности	1	12	0,80	9,6	4,6	0,9	10,7	16,2
Насосы пожаротушения (ЭП чрезвычайной ситуации, в общей нагрузке не учитываются)	1	41	0	0	0	0,9	0	0
Итого по торговому центру	-	1624,7	0,62	999,5	690,9	0,82	1215,1	1846,2

3 Определение электрических нагрузок системы внутреннего освещения

Расчёт системы внутреннего освещения торгового центра производится в соответствии со сводом правил СП 52.13330.2016. Норма освещённости для торгового зала в различных его точках и зонах варьируется от 400 лк до 700 лк [15]. Важную роль имеет равномерность освещения поверхности в рядах между стеллажами, на которых размещаются продаваемые товары.

Для выполнения общего освещения пространства торгового зала выбираем по каталогу производителя «Световые технологии» светодиодные светильники, соединяемые в световые полосы.

В расчетах используем метод коэффициента использования светового потока, согласно которому число светильников N в помещении определяется из выражения [3]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot K_3}{U \cdot \Phi}, \quad (6)$$

где E – нормативное значение средней горизонтальной освещённости, принимаемое по своду правил равным 700 лк;

S – площадь рабочей поверхности, определяемая из геометрических размеров и конфигурации торгового зала;

z – коэффициент, получаемый путём деления среднего значения освещённости рабочей поверхности на максимальное значение освещённости;

K_3 – значение коэффициента запаса, принимаемое в зависимости от чистоты окружающей среды в помещении и периодичности обслуживания системы освещения;

U – коэффициент использования световых установок, принимаемый по предоставленным производителем светильника справочным

данным в зависимости от значения индекса помещения и коэффициентов отражения потолка, стен и пола в помещении [7];
 Φ – значение светового потока для одного светильника выбранной мощности.

Находим значение индекса помещения в зависимости от его площади, геометрических размеров, высоты, а также высоты рабочей поверхности и высоты крепления светильника от потолка:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)}, \quad (7)$$

где H – общая высота от пола до потолка торгового зала;

h_1 – расстояние от пола помещения до высоты рабочей поверхности, на которой нормируется уровень освещённости;

h_2 – расстояние от потолка помещения до самого светильника, располагаемого на подвесе или иных конструкциях.

Определение индекса помещения и количества светильников для обеспечения нормируемой освещённости выполним на примере офиса главного инженера здания:

$$i = \frac{15,1}{(2,8 - 0,85 - 0) \cdot (5 + 3)} = 0,95 \text{ о.е.}$$

$$N = \frac{300 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 1,5}{0,8 \cdot 3202} = 2 \text{ шт.}$$

В настоящее время существует достаточно много систем автоматизированного проектирования освещения производственных помещений, среди которых наибольшей популярностью пользуется программный продукт Dialux за счёт своего расширенного функционала, возможности использования трехмерного дизайна помещений, расстановки

мебели, световых проёмов и расчёта освещённости на сложных поверхностях. Многими производителями современных светильников созданы базы данных выпускаемой продукции специально для использования в данном программном обеспечении, таким образом расчёты освещённости и количества светильников для каждого из помещений торгового центра выполняем в программе Dialux а полученные результаты расчётов заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов мощности системы освещения для отдельных помещений торгового центра

Тип помещения или его назначение	$S, м^2$	$P, кВт$	$Q, квар$
Область погрузочно-разгрузочных работ	331	1,8	0,54
Помещение автоматизированных систем управления	17	0,1	0,03
Склад тары и внешней упаковки	6	0,04	0,012
Склад ингредиентов для пекарни	7,4	0,04	0,012
Помещение с ингредиентами для производства готовой продукции	10	0,1	0,03
Холодильное помещение 1	4,2	0,05	0,015
Холодильное помещение 2	20,3	0,2	0,06
Холодильное помещение 3	12	0,1	0,03
Холодильное помещение 4	19	0,15	0,045
Холодильное помещение 5	9,4	0,08	0,024
Холодильное помещение 6	13,8	0,1	0,03
Холодильное помещение 7	46,7	0,3	0,09
Холодильное помещение 8	54,5	0,3	0,09
Холодильное помещение 9	13	0,1	0,03
Холодильное помещение 10	6,4	0,08	0,024
Холодильное помещение 11	7,1	0,08	0,024
Холодильное помещение 12	8,8	0,08	0,024
Холодильное помещение 13	6,4	0,08	0,024
Холодильное помещение 14	39,5	0,25	0,075
Холодильное помещение 15	7,2	0,08	0,024
Холодильное помещение 16	8,4	0,08	0,024
Холодильное помещение 17	47,4	0,3	0,09
Кабинет начальника производства	14,6	0,1	0,03
Склад принадлежностей	5,4	0,05	0,015
Раздевалка работников пищевого производства	12,7	0,07	0,021
Туалет рабочего персонала	3,9	0,05	0,015
Склад клининговой службы	4,8	0,04	0,012
Помывочная техники	5,6	0,04	0,012
Помывочная тары	6	0,04	0,012

Продолжение таблицы 3

Тип помещения или его назначение	$S, м^2$	$P, кВт$	$Q, квар$
Склад картонных изделий и упаковки	17	0,1	0,03
Помещение номер 115	7	0,04	0,012
Помещение номер 116	11,5	0,08	0,024
Электроустановки холодильных помещений	24,4	0,15	0,045
Помещение номер 118	102,4	0,35	0,105
Помывочные мясного отдела	10,8	0,08	0,024
Помещение для работы с полуфабрикатами	110,4	1	0,3
Рекреация	271,8	1,5	0,45
Туалет рабочего персонала	7,5	0,08	0,024
Электропомещение	23,3	0,05	0,015
Помещение для работы с овощами и фруктами	11,4	0,05	0,015
Помещение для работы с обработанной рыбой	9,7	0,08	0,024
Помывочная для рыбных помещений	9,8	0,1	0,03
Помещение для работы с сырой рыбой	19,5	0,3	0,09
Складское помещение сухой продукции	78,2	0,34	0,102
Помещение для работы с корнеплодами	13,4	0,2	0,06
Кулинария	46,7	0,2	0,06
Помещение приготовления салатов	22,7	0,1	0,03
Помывочная кулинарии	9,2	0,08	0,024
Участок снятия наружной упаковки	6	0,05	0,015
Мини-пекарня	86,6	0,4	0,12
Помещение упаковки изделий пекарни	6,7	0,05	0,015
Помещение насосной станции	34,8	0,15	0,045
Помещение теплового пункта	17,3	0,093	0,0279
Электропомещение	13,8	0,05	0,015
Помещение зарядной	24,4	0,1	0,03
Трансформаторная подстанция	44,3	0,2	0,06
Отдел оформления	15,8	0,093	0,0279
Ремонтная	20	0,104	0,0312
Офис главного инженера	15,1	0,093	0,0279
Помещение субарендатор	209	1,9	0,57
Помещение вспомогательных служб	19	0,104	0,0312
Отдел кадров	20,6	0,104	0,0312
Архивное помещение	4,6	0,05	0,015
Переговорная	12,4	0,093	0,0279
Складское помещение сухой продукции	138,4	0,7	0,21
Помещение службы безопасности	22,4	0,104	0,0312
Помещение службы уборки	9,5	0,07	0,021
Туалет рабочего персонала	5,7	0,08	0,024
Гардеробное помещение	21,1	0,093	0,0279
Гардеробное помещение	50,8	0,3	0,09
Гардеробное помещение	86,7	0,5	0,15
Туалет для покупателей и гостей ТЦ	52,9	0,4	0,12
Проход перед кассами	542	3,4	1,02

Продолжение таблицы 3

Тип помещения или его назначение	$S, м^2$	$P, кВт$	$Q, квар$
Административное помещение	8,9	0,1	0,03
Помещение номер 158	10,3	0,1	0,03
Электропомещение	4,1	0,05	0,015
Серверная	4,2	0,05	0,015
Помещение для проведения осмотра	6,9	0,1	0,03
Пункт фиксации внешних камер	10,7	0,05	0,015
Переход	46,4	0,1	0,03
Общие торговые помещения ТЦ	3937,6	29,1	8,73
Вход	5,3	0,05	0,015
Входная группа	45,6	0,3	0,09
Итоговые значения по помещениям торгового центра	7159,3	49,37	14,8

По полученным итоговым данным о активной и реактивной мощности системы освещения находим значения полной мощности и расчетного тока для системы внутреннего искусственного освещения торгового центра:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

$$S_p = \sqrt{49,37^2 + 14,8^2} = 51,5 \text{ кВА.}$$

$$I_{расч} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38},$$

$$I_{расч} = \frac{51,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 78,2 \text{ А.}$$

Выводы по разделу. По методу коэффициента использования светового потока произведён расчёт необходимого числа светодиодных светильников для установки в отдельных помещениях торгового центра. Определены параметры помещений, требуемые значения нормируемой освещённости, поправочные коэффициенты на степень загрязнённости помещения и периодичность его обслуживания, определены итоговые расчётные нагрузки, потребление активной, реактивной и полной мощности системой искусственного освещения торгового центра.

4 Определение номинальной мощности силовых трансформаторов, устанавливаемых на комплектной трансформаторной подстанции, питающей ТЦ

По выполненным ранее расчётам суммарная полная мощность торгового центра составляет 1215,1 кВА.

Поскольку среди электроприемников торгового центра значительную долю нагрузки составляют электроприёмники, относящиеся к первой категории по надёжности электроснабжения, то для установки на питающей торговый центр подстанции выбираем 2 отдельных силовых трансформатора питаемых от высоковольтного распределительного пункта по двум отдельным кабельным линиям, что позволяет обеспечить требования к надёжности электроснабжения потребителей. Далее необходимо произвести расчёт номинальной мощности силовых трансформаторов с тем, чтобы при возникновении аварийной перегрузки один оставшийся в работе трансформатор мог продолжительное время обеспечивать питание всех электроприёмников, относящихся к первой и второй категориям по надёжности электроснабжения [11].

По упрощенным формулам производим расчёт потерь активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах КТП, значение потерь полной мощности находим как корень квадратный из суммы квадратов потерь активной и реактивной мощностей [9]:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p, \quad (8)$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1215,1 = 24,3 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p, \quad (9)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1215,1 = 121,51 \text{ квар.}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_m^2 + \Delta Q_m^2}. \quad (10)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{24,3^2 + 121,51^2} = 123,92 \text{ кВА.}$$

По имеющимся данным в план перспективной застройки входит строительство кондитерского и хлебобулочного цехов суммарной проектной мощностью 350 кВт, что необходимо учесть при выборе номинальной мощности силовых трансформаторов на будущую перспективу.

Исходя из известного среднего значения коэффициента мощности для подобных пищевых производств, определяем значение полной мощности планируемого к постройке кондитерского и хлебобулочного цеха:

$$S_{\text{дон}} = \frac{P_{\text{р.дон.}}}{\cos\varphi}. \quad (11)$$

$$S_{\text{дон}} = \frac{350}{0,95} = 368,42 \text{ кВА}.$$

Номинальная мощность силового трансформатора должна быть выбрана по расчётной нагрузке потребителей и планируемой к вводу дополнительной мощности, а также с учётом возможных имеющихся потерь мощности, с учётом его коэффициента загрузки в нормальном режиме работы:

$$S_T \geq S_p = 0,7 \cdot (S_p + \Delta S_T + S_{\text{дон}}). \quad (12)$$

$$S_T \geq S_p = 0,7 \cdot (1215,1 + 123,92 + 368,42) = 1707,44 \text{ кВА}.$$

Исходя из того, что проектируемая трансформаторная подстанция находится в районе плотной городской застройки и к ней предъявляются повышенные требования к пожаробезопасности, то выбираем тип устанавливаемого на подстанции трансформатора ТСЗ [13].

Опираясь на шкалу номинальных мощностей серийно выпускаемых силовых трансформаторов данного типа, принимаем к установке два трансформатора мощностью по 2000 кВА каждый.

В таблице 4 приведены основные технические характеристики, к

которым относятся номинальная мощность силового трансформатора, номинальное значение напряжения для обмоток высокого и низкого напряжения, напряжение короткого замыкания, а также значение потерь холостого хода и короткого замыкания и ток холостого хода для выбранного силового трансформатора по данным, указанным на официальном сайте завода-производителя.

Таблица 4 – Основные технические характеристики принятого к установке на КТП силового трансформатора

Тип, выбранного СТ	$S_H, \text{кВА}$	$U_{H.BH}, \text{кВ}$	$U_{H.HH}, \text{кВ}$	$U_{K.3}, \%$	$P_{xx}, \text{кВт}$	$P_{кз}, \text{кВт}$	$I_0, \%$
ТСЗ	2000	6	0,4	6,0	3,2	16	1,1

По стандартным выражениям произведем определение коэффициента мощности и коэффициента реактивной мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (13)$$

$$\cos\varphi = \frac{999,5}{1215,1} = 0,823.$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_p}{P_p}. \quad (14)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{690,9}{999,5} = 0,691.$$

Определим значение реактивной мощности, которое целесообразно скомпенсировать в сети 0,4 кВ и не передавать через силовые трансформаторы из сети высокого напряжения [12]:

$$Q_{к.у} = \alpha \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k). \quad (15)$$

В расчётах принимаем нормативное значение коэффициента мощности после компенсации равным $\cos\varphi_k = 0,95$, что соответствует значению $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,33$.

$$Q_{к.у} = 0,9 \cdot 999,5 \cdot (0,691 - 0,33) = 324,7 \text{ квар.}$$

Поскольку на трансформаторной подстанции будут установлены два силовых трансформатора, то и конденсаторных установок принимаем 2. Исходя из планируемого равномерного распределения реактивной мощности по секциям шин и соответственно силовым трансформаторам, выбираем две конденсаторные установки одинаковой мощности по 167 квар, их технические характеристики сводим в таблицу 5.

Таблица 5 – Основные технические характеристики принятых к установке на КТП конденсаторных установок

Наименование и маркировка КУ	$U, \text{кВ}$	$Q, \text{квар}$	$N_{\text{ступ}}$	$Q_{\text{шаг}}, \text{квар}$
УКМ58-0,4-167-33,3 УЗ	0,4	167	5	33,3

Определим фактическое значение коэффициента мощности на силовых трансформаторах КТП после установки устройств компенсации реактивной мощности и их работе на максимальную выдачу реактивной мощности [10]:

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.см}}{\alpha \cdot P_p} \quad (16)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = 0,691 - \frac{2 \cdot 167}{0,9 \cdot 999,5} = 0,32.$$

Что соответствует значению $\cos\varphi_\phi = 0.95$.

Определяем необходимую полную мощность силовых

трансформаторов КТП с учетом компенсации части, передаваемой через них реактивной мощности [20]:

$$S_{P(K.V.)} = 0,7 \cdot (S_p + S_{дон}), \quad (17)$$

$$S_{P(K.V.)} = 0,7 \cdot 1215,1 + 368,42 = 1108,5 \text{ кВА}.$$

Таким образом, размещение низковольтных конденсаторных установок позволяет уменьшить номинальную мощность выбираемых силовых трансформаторов, поэтому к установке на трансформаторной подстанции принимаем трансформаторы по 1600 кВА каждый, их основные технические характеристики приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные технические характеристики принятого к установке на КТП силового трансформатора мощностью 1600 кВА

Тип, выбранного СТ	$S_H, \text{кВА}$	$U_{H.VH}, \text{кВ}$	$U_{H.HH}, \text{кВ}$	$U_{K.3}, \%$	$P_{xx}, \text{кВт}$	$P_{кз}, \text{кВт}$	$I_0, \%$
ТСЗ	1600	6	0,4	6,0	2,8	14	1,1

В таблицу 7 сводим полученные расчётные данные по мощностям до и после установки устройств компенсации реактивной мощности.

Таблица 7 – Расчётные данные по мощностям до и после установки устройств компенсации реактивной мощности

Значение эл. параметров режима	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{расч}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{расч}}, \text{квар}$	$S_{\text{расч}}, \text{кВА}$
без КРМ	0,82	0,69	999,5	690,9	1215,1
парам. КУ	-	-	-	2x167	-
с КРМ	0,95	0,32	999,5	356,9	1061,31
знач. потерь	-	-	24,3	121,51	123,92
Итого после установки КУ	-	-	1023,8	478,41	1130,1

Определим значение коэффициента загрузки силового трансформатора до ввода в эксплуатацию дополнительной нагрузки кондитерского цеха и хлебобулочного производства и после:

$$K_3 = \frac{S_{p(K.Y.)}}{N_m \cdot S_n}, \quad (18)$$

$$K_3 = \frac{1130,1}{2 \cdot 1600} = 0,35,$$

$$K_3 = \frac{S_{p(K.Y.)} + S_{don}}{N_m \cdot S_n}. \quad (19)$$

$$K_3 = \frac{1130,1 + 368,42}{2 \cdot 1600} = 0,47.$$

Вывод по разделу:

По результатам расчетов нагрузки торгового центра и с учётом потерь в силовых трансформаторах была определена необходимая мощность силовых трансформаторов для питания потребителей, в том числе относящихся к первой категории по надёжности электроснабжения. Произведён расчёт и выбор номинальной мощности автоматических конденсаторных установок, размещаемых на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции. Установка устройств компенсации реактивной мощности позволяет снизить номинальную мощность силовых трансформаторов, таким образом с учётом ввода в эксплуатацию перспективной нагрузки кондитерского и хлебобулочного цехов принимаем к установке на трансформаторной подстанции 2 сухих силовых трансформатора типа ТСЗ мощностью по 1600 кВА каждый.

5 Определение сечений проводников во внутренней системе электроснабжения торгового центра

Расчёт внутренней сети электроснабжения отдельных электроприемников сводится к выбору марки кабелей исходя из требований к их эксплуатации, условиям прокладки и окружающей среды, а также расчёта сечения кабельных линий при определении сечений. С одной стороны, важную роль играет нагрев проводника, вызванный протекающим через него током, величина потерь электрической энергии и напряжения, с другой стороны, стоимость самого проводника, которая при увеличении сечения также существенно увеличивается.

Внутренняя сеть выполняется 5 проводной, состоящей из 3 фазных проводников, рабочего нулевого провода и защитного проводника. При выборе кабеля учитывается его номинальное напряжение, на которое он рассчитан для условий своей эксплуатации и длительно допустимый ток, который сравнивается для линий к одиночному электроприемнику с номинальным значением тока, а для линий к групповым узлам питания с расчётным значением тока для данного узла питания.

Линии к групповым распределительным щитам выполняются кабелем ВВГнг-LS. В сетях аварийного освещения используется специальный кабель ВВГнг-FRLS с повышенной пожарозащищённостью.

Питание резервного дизельного генератора осуществляется по бронированным кабелям с медной жилой ВВБШвнг [6].

Выполним определение расчётного тока отдельного электроприемника и выбор для него питающего кабеля на примере мощной кухонной печи пекарного производства:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos\varphi}, \quad (20)$$

где P – значение номинальной мощности одного ЭП;

$\cos\varphi = 0.95$ - значение коэффициента мощности.

$$I_p = \frac{72,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 116,1 \text{ A.}$$

По полученному значению расчётного тока выбираем кабель выбранного типа с длительно допустимым током, ближайшим большим к расчётному - ВВГнг-LS 5x50 с $I_{\text{доп}} = 167 \text{ A}$.

Аналогичным образом производим определение расчётных токов для групповых линий и номинального значения тока для отдельных электроприемников и выбираем сечение кабельных линий, а полученные результаты вычислений заносим в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты определения расчётных токов для групповых линий, номинального значения тока для отдельных электроприемников и сечения кабельных линий

Номер помещения или центр питания	Электроприемник или группа	I_p , А	Сечение выбранного типа кабеля ВВГнг-LS или иное
118	Печь пекарни	116,1	5x50
-	Ввод собственных нужд ДГУ	15	ВВ6Швнг-3x2,5
ЩК1	Кондиционеры и тепловая завеса	209,1	2(5x50)
-	Компрессорная 117	607,7	2x(5x185)
118	Уличное освещение	53,1	5x25
-	Компрессорная 117	162,1	5x70
ЩС1.1	Технологическое оборудование	19,1	5x6
162	Видеонаблюдение	-	5x16
ЩС1.2	Технологическое оборудование	179,3	5x95
Ввод ЩГП	АВР-н2.1-2.2	-	ВВ6Швнг- 2(4x150)
ЩС2	Технологическое оборудование	77,3	5x25
ЩАВР	АВР-н1.1-1.2	-	2(4x150)
ЩО1	Рабочее освещение	89,3	5x25

Продолжение таблицы 8

Номер помещения или центр питания	Электроприемник или группа	I_p , А	Сечение выбранного типа кабеля ВВГнг-LS или иное
ЗМ1	-	-	ПуГВ 1x150
ЩО4	Рабочее освещение	32,9	5x25
ЩВ6	Вентиляционное оборудование	23,2	5x10
ЩО5	Рабочее освещение	14,1	5x10
ЩВ2	Вентиляционное оборудование	11,8	5x6
ЩО6	Рабочее освещение	15,3	5x10
ЩС1.5	Щит силовой	9,1	5x4
ЩК2	Кондиционеры и тепловая завеса	407,6	2(5x120)
ЩО3	Рабочее освещение	35,4	5x25
ЩК3	Кондиционеры и тепловая завеса	31,9	5x10
ЩО2	Рабочее освещение	21,6	5x25
ЩР1	Розеточная сеть	26	5x25
ЩС1.4	Технологическое оборудование	48,6	5x25
ЩВ3	Вентиляционное оборудование	5,3	5x2,5
ЩС1.3	Технологическое оборудование	169,5	5x95
ЩВ4	Вентиляционное оборудование	17,7	5x10
75	Пароконвертомат	80	5x50
ЩВ5	Вентиляционное оборудование	54,9	5x16
112	Подовая печь	82,8	5x50
ЩБ1.1	ИБП 12 кВА	54,5	5x25
ЩАО5	Питание системы аварийного освещения	0,8	ВВГнг-FRLS 5x2,5
ЩБ2.1	Источник бесп. питания 40 кВА	60,8	5x25
ЩАО3	Питание системы аварийного освещения	4,3	ВВГнг-FRLS 5x6
ВЭРС-1.1	Информационно-коммуникационная сеть	29,2	5x25
ЩАО2	Питание системы аварийного освещения	1,7	ВВГнг-FRLS 5x2,5
ВЭРС-1.2	Информационно-коммуникационная сеть	25,1	5x16
ВЭРС-3	Информационно-коммуникационная сеть	-	5x25
ЩАО1	Питание системы аварийного освещения	8,9	ВВГнг-FRLS 5x6

Продолжение таблицы 8

Номер помещения или центр питания	Электроприемник или группа	I_p, A	Сечение выбранного типа кабеля ВВГнг-LS или иное
ЩБ2.3	Источник бесп. питания 40 кВА	60,8	5x25
ЩБ2.2	Источник бесп. питания 40 кВА	60,8	5x25
ВЭРС-1.2	Информационно-коммуникационная сеть	25,1	5x25
ВЭРС-2.1	Информационно-коммуникационная сеть	-	5x25
Ввод №1	-	1349,6	ПВЗ 16 (1x240)
Ввод №2	-	823,2	ПВЗ 16 (1x240)

Выполним расчёт потерь напряжения на отдельных участках кабельных линий, вплоть до самого удалённого от центра питания электроприемника с целью проверки допустимости снижения уровня напряжения на зажимах самого дальнего ЭП. Значение отклонения напряжения Премиум в соответствии с ГОСТ 32144-2013, полученные значения вычислений занесем в таблицу 9.

Таблица 9 – Параметры для расчёта потерь в линиях до самого удалённого электроприемника

Начало / конец линии	Марка кабеля, число жил и сечение	$L, км$	I_p, A	$\cos\varphi$	$r_0, Ом / км$	$x_0, Ом / км$
КТП / ГРЩ	ПВЗ 16 (1x240)	0,02	1349,6	0,95	0,075	0,07
ГРЩ / РЩ №3	ВВГнг - LS 5x25	0,02	65,5	0,8	0,72	0,066
РЩ №3 / вентустановка	ВВГнг - LS 5x10	0,161	17,7	0,8	1,79	0,073

Для определения потерь напряжения в линии электропередачи используем приведённую ниже формулу, согласно которой потери прямо пропорциональны протекающему через линию току, длине линии и её

сопротивлению, и обратно пропорциональны приложенному к ней напряжению [19]:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_{\text{л}}} \cdot ((r_0 \cdot \cos \varphi) + (x_0 \cdot \sin \varphi)), \quad (21)$$

где « I_p – расчетный ток в линии, А;

L – длина линии, км;

$U_{\text{л}}$ – напряжение в линии, В;

r_0 – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км» [7].

Определяем величину потерь напряжения в линиях, приведённых в таблице 9:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1349,6 \cdot 0,02}{380} (0,075 \cdot 0,95 + 0,07 \cdot 0,31) \cdot 100\% = 1,15 \ %.$$

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 65,5 \cdot 0,02}{380} (0,72 \cdot 0,8 + 0,066 \cdot 0,6) \cdot 100\% = 0,4 \ %.$$

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 17,7 \cdot 0,161}{380} (1,79 \cdot 0,8 + 0,073 \cdot 0,6) \cdot 100\% = 1,92 \ %.$$

Величина напряжения на зажимах электроприемника определяется как разность между напряжением на шинах низкого напряжения питающей трансформаторной подстанции и суммарным значением потерь напряжения во всех линиях электропередачи от ТП до месторасположения электроприемников:

$$U_{\text{эл}} = U_x - \Delta U_{\text{л}}, \quad (22)$$

где U_x – напряжение в режиме ХХ на стороне низкого напряжения СТ, принимаемое в расчетах 105%;

$\Delta U_{\text{л}}$ – суммарные значения потерь напряжения во всех линиях электропередачи от ТП до месторасположения электроприемников, %.

Находим величину относительного значения напряжения на зажимах наиболее удалённого от источника питания электроприемника, которым является вентиляционный агрегат:

$$U_{\text{эл}} = 105 - 1,15 - 0,4 - 1,92 = 101,53\%.$$

Выводы по разделу.

Исходя из условий размещения и требований нормативных документов выбраны марки кабелей для использования как в сети электроснабжения силовых электроприемников, так и в сети рабочего и аварийного освещения. Произведён выбор сечений кабелей как к отдельным электроприемникам, так и групповым узлам питания, определена величина суммарных потерь напряжения до наиболее удаленного от источника питания электроприемника, которым являлся вентиляционный агрегат. Установлено, что максимальное отклонение напряжения не превышает 4%, что укладывается в установленное в ГОСТ 32144-2013 нормативное значение.

6 Определение максимальных значений токов короткого замыкания в расчётных точках

При расчетах токов короткого замыкания важное значение имеет учёт электрической дуги и её внутреннего сопротивления, возникающей в месте короткого замыкания [5]. Расчёт токов КЗ выполняем по нормативному документу [2].

По приведённому ниже выражению определяем значение коэффициента действующего значения тока:

$$q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}, \quad (23)$$

где K_y – значение ударного коэффициента, определяемого по графику, приведённому в справочной литературе в зависимости от отношения активного сопротивления цепи к его индуктивному сопротивлению (рисунок 2).

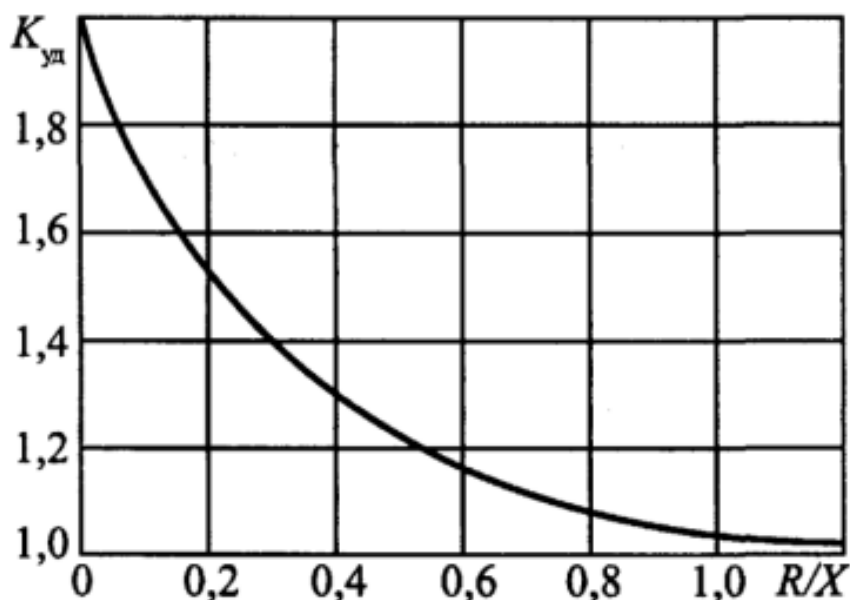


Рисунок 2 – Зависимость снижения ударного коэффициента при росте величины отношения активного сопротивления к индуктивному

Расчётное выражение для определения тока трёхфазного короткого замыкания приведено ниже:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}}. \quad (24)$$

Значение тока трёхфазного короткого замыкания определяется через снижающий коэффициент в зависимости от ранее найденного значения тока трёхфазного короткого замыкания:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)}. \quad (25)$$

Определяем величину ударного тока:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3}^{(3)}. \quad (26)$$

Действующее значение ударного тока короткого замыкания получаем путём умножения амплитудного значения на коэффициент действующего значения:

$$I_y = q \cdot I_{K3}^{(3)}. \quad (27)$$

По приведённым выше формулам производим расчёт токов короткого замыкания от подстанции энергосистемы до наиболее удалённого в схеме электроснабжения от источника питания электроприемника, которым является вентиляционный агрегат. На рисунке 3 приведена расчетная схема для определения токов короткого замыкания, а на рисунке 4 представлена её схема замещения.

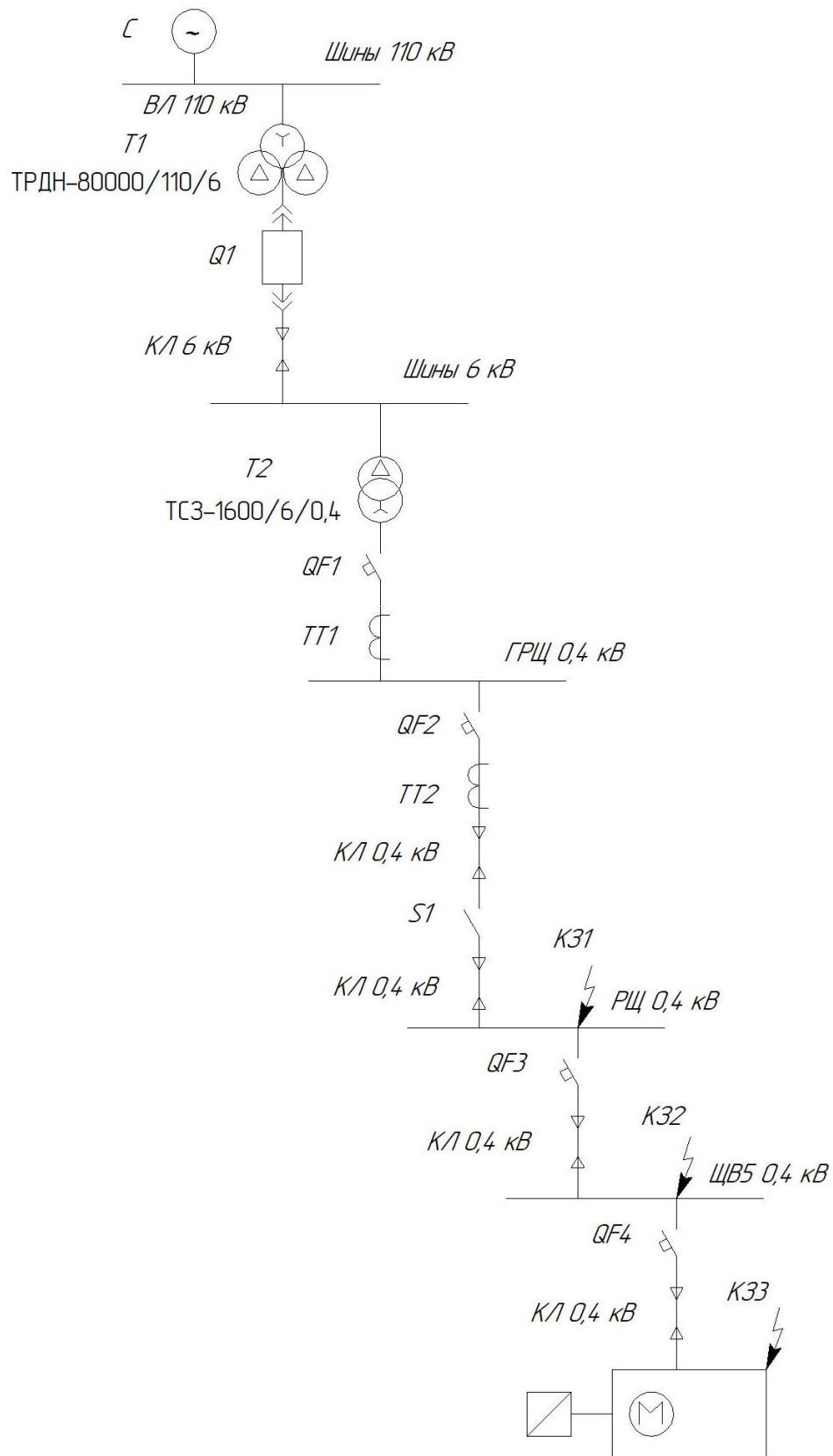


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

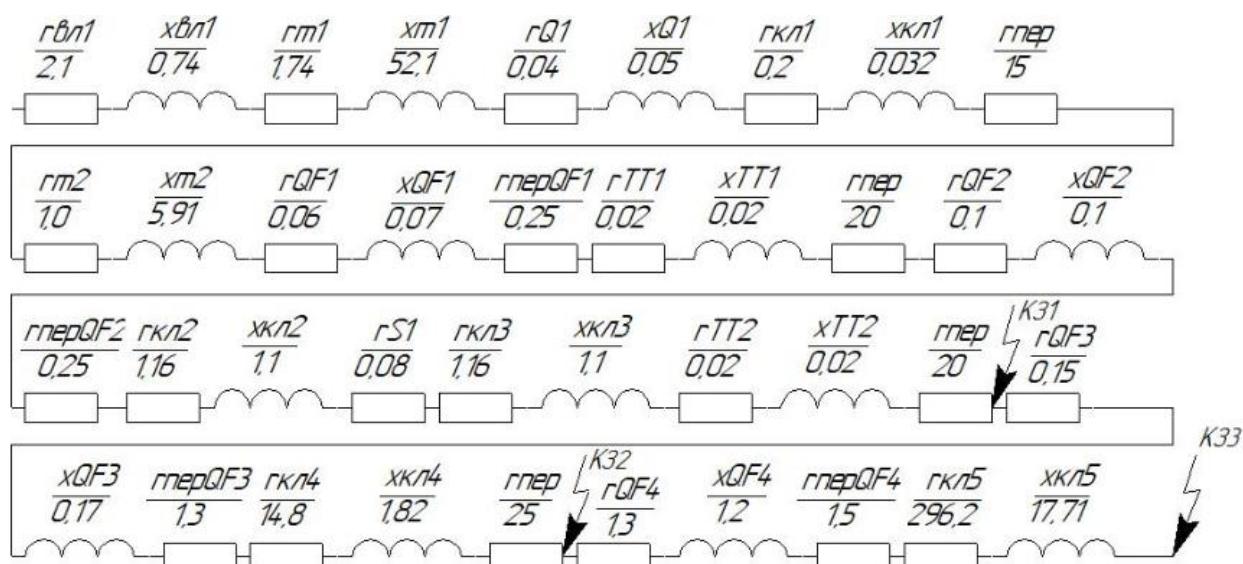


Рисунок 4 – Схема замещения с указанием сопротивлений элементов цепи

Для электротехнического оборудования, входящего в схему замещения по имеющимся каталожным данным определяем значение внутренних активного и индуктивного сопротивлений [16], найденные справочные значения сводим в таблицу 10.

Таблица 10 – Значение внутренних активного и индуктивного сопротивлений

Обозначение элемента на расчетной схеме	r, мОм	x, мОм
Q 1	0,04	0,05
QF 1	0,06	0,07
QF 2	0,10	0,10
QF 3	0,15	0,17
QF 4	1,3	1,2
T 1	1,74	52,1
T 2	1,0	5,91
TT 1	0,02	0,02
TT 2	0,02	0,02
S	0,08	0,08
переходное сопр. QF1	0,25	-
переходное сопр. QF2	0,25	-
переходное сопр. QF3	1,3	-
переходное сопр. QF4	1,5	-

Активное и индуктивное сопротивление линии электропередачи определённой длины получаем путём умножения погонного значения

сопротивления на длину линии, а для линии напряжением выше 1000 В дополнительного умножаем на базисное значение напряжение и делим на средненоминальное значение напряжения:

$$r = r_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{cp}}, \quad (28)$$

$$x = x_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{cp}}, \quad (29)$$

где r_0 – активное погонное сопротивление кабельной линии;

x_0 –индуктивное погонное сопротивление кабельной линии.

Активное и индуктивное сопротивление линии электропередачи напряжением до 1000 В определённой длины получаем путём умножения погонного значения сопротивления на длину линии:

$$r = r_0 \cdot L,$$

$$x = x_0 \cdot L.$$

В таблицу 11 сводим исходные данные для расчётов сопротивления линий, входящих в схему замещения для определения токов КЗ.

Таблица 11 - Исходные данные для расчётов сопротивления линий, входящих в схему замещения для определения токов КЗ

Проводник	Обозначение элемента на расчетной схеме	r_0 , мОм/м	x_0 , мОм/м	l, м
ВЛ	$r_{вл} / x_{вл}$	1,16	0,41	500
КЛ 1	$r_{кл1} / x_{кл1}$	0,53	0,088	100
КЛ 2	$r_{кл2} / x_{кл2}$	0,077	0,071	15
КЛ 3	$r_{кл3} / x_{кл3}$	0,077	0,071	15
КЛ 4	$r_{вл4} / x_{кл4}$	0,74	0,091	20
КЛ 5	$r_{кл5} / x_{кл5}$	1,84	0,11	161

Выполняем расчёт активных и индуктивных сопротивлений линий по приведённым выше формулам:

$$r_{вл} = 1,16 \cdot 500 \cdot \frac{0,4}{110} = 2,1 \text{ мОм.}$$

$$x_{вл} = 0,41 \cdot 500 \cdot \frac{0,4}{110} = 0,74 \text{ мОм.}$$

$$r_{кл1} = 0,53 \cdot 100 \cdot \frac{0,4}{110} = 0,2 \text{ мОм.}$$

$$x_{кл1} = 0,088 \cdot 100 \cdot \frac{0,4}{110} = 0,032 \text{ мОм.}$$

$$r_{кл2} = 0,077 \cdot 15 = 1,16 \text{ мОм.}$$

$$x_{кл2} = 0,071 \cdot 15 = 1,1 \text{ мОм.}$$

$$r_{кл3} = 0,077 \cdot 15 = 1,16 \text{ мОм.}$$

$$x_{кл3} = 0,071 \cdot 15 = 1,1 \text{ мОм.}$$

$$r_{кл4} = 0,74 \cdot 20 = 14,8 \text{ мОм.}$$

$$x_{кл4} = 0,091 \cdot 20 = 1,82 \text{ мОм.}$$

$$r_{кл5} = 1,84 \cdot 161 = 296,24 \text{ мОм.}$$

$$x_{кл5} = 0,11 \cdot 161 = 17,71 \text{ мОм.}$$

Находим суммарные значения активного и индуктивного сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения до определённой точки, а полученное значение указываем на рисунке 5.

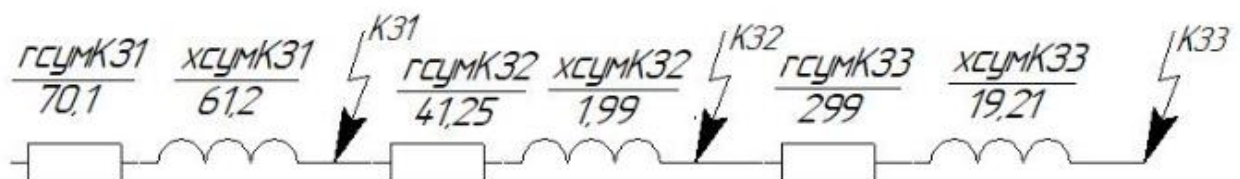


Рисунок 5 – Схема замещения для расчёта токов КЗ с суммарными значениями сопротивлений

Определяем суммарное активное сопротивление всех элементов, входящих в схему замещения до первой расчётной точки:

$$R_{\text{сум}K31} = r_{\text{вл}} + r_{\text{кл1}} + r_{\text{кл2}} + r_{\text{кл3}} + r_{T1} + r_{T2} + r_{TT1} + r_{TT2} + r_{Q1} + r_{QF1} + r_{QF2} + r_{\text{пер}QF1} + r_{\text{пер}QF2} + r_{\text{пер1}} + r_{\text{пер2}} + r_{\text{пер3}} + r_{\text{дуги}} \cdot$$

$$R_{\text{сум}K31} = 2,1 + 0,2 + 1,16 + 1,16 + 1,74 + 1,0 + 0,02 + 0,02 + 0,04 + 0,06 + 0,1 + 0,25 + 0,25 + 15 + 20 + 20 + 7 = 70,1 \text{ мОм.}$$

Определяем суммарное индуктивное сопротивление всех элементов, входящих в схему замещения до первой расчётной точки:

$$X_{\text{сум}K31} = x_{\text{вл}} + x_{\text{кл1}} + x_{\text{кл2}} + x_{\text{кл3}} + x_{T1} + x_{T2} + x_{TT1} + x_{TT2} + x_{Q1} + x_{QF1} + x_{QF2} \cdot$$

$$X_{\text{сум}K31} = 0,74 + 0,032 + 1,1 + 1,1 + 52,1 + 5,91 + 0,02 + 0,02 + 0,05 + 0,07 + 0,1 = 61,2 \text{ мОм.}$$

Определяем суммарное полное сопротивление всех элементов, входящих в схему замещения до первой расчётной точки:

$$Z_{K31\text{сум}} = \sqrt{R_{\text{сум}K31}^2 + X_{\text{сум}K31}^2} \cdot$$

$$Z_{K31\text{сум}} = \sqrt{70,1^2 + 61,2^2} = 93,1 \text{ мОм.}$$

По справочной характеристике, приведённой на рисунке 2 определяем значение ударного коэффициента, соответствующее отношению активного к индуктивному сопротивлению в данной расчётной точке – $K_y = 1,01$.

Определяем коэффициент действующего значения:

$$q = \sqrt{1 + 2(1,01 - 1)^2} = 1.$$

Находим действующее значение трехфазного тока короткого замыкания:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 93,1} = 2,48 \text{ кА}.$$

Через поправочный коэффициент определяем действующее значение двухфазного тока короткого замыкания:

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,48 = 2,15 \text{ кА}.$$

Находим амплитудное значение ударного тока КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,01 \cdot 2,48 = 3,54 \text{ кА}.$$

Его действующее значение путём умножения на соответствующий коэффициент:

$$I_y = 1 \cdot 2,48 = 2,48 \text{ кА}.$$

С целью определения значения однофазного тока короткого замыкания составляется схема замещения, приведённая на рисунке 6, в которой дополнительно учитывается значение сопротивления $r_n = 2 \cdot r_0$.

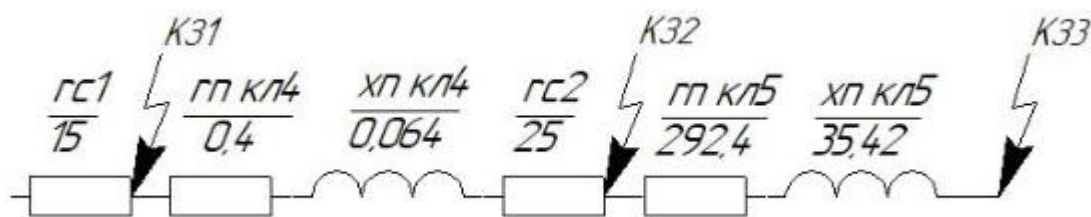


Рисунок 6 – Расчётная схема замещения для определения значения однофазного тока короткого замыкания

Действующее значение однофазного тока короткого замыкания определяется по следующему выражению:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{нф}}{Z_n + 0,33 \cdot Z_T^{(1)}}, \quad (33)$$

где $U_{нф}$ – фазное значение напряжения;

Z_n - полное значение сопротивления пути протекания однофазного тока КЗ;

$Z_T^{(1)}$ – полное значение сопротивления СТ при однофазном КЗ.

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{15 + 0,33 \cdot 54} = 6,7 \text{ кА.}$$

По аналогичной методике производится расчёт токов короткого замыкания в расчётных точках 2, 3, для данных расчётных точек используются вновь рассчитанные значения суммарного активного и индуктивного сопротивлений, а также коэффициентов, участвующих в расчётах. Результаты вычислений для всех трёх точек заносим в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты определения токов короткого замыкания в трех расчетных точках

Расч. точка	$R_{сум}$	$X_{сум}$	$Z_{сум}$	K_y	q	$I_{КЗ}^{(1)}$, кА	$I_{КЗ}^{(2)}$, кА	$I_{КЗ}^{(3)}$, кА	i_y , кА	I_y , кА
КЗ1	70,1	61,2	93,1	1,01	1	6,7	2,15	2,48	3,54	2,48
КЗ2	41,25	1,99	41,3	1	1	5,82	4,84	5,59	7,9	5,59
КЗ3	299	19,21	299,6	1	1	5,14	0,67	0,77	1,1	0,77

Выводы по разделу.

Приведена методика для проведения расчёта токов короткого замыкания. Составлена расчетная схема и определены входящие в неё элементы до наиболее удаленного от источника питания мощного электроприемника. Определены расчётные точки для определения токов КЗ с целью проверки коммутационных аппаратов. Произведён расчёт сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения, которая была построена на основании расчётной схемы. Определены суммарные значения сопротивлений до расчётных точек. Выполнен расчёт действующих значений трёхфазного, двухфазного и однофазного тока короткого замыкания, а также амплитудного значения ударного тока короткого замыкания в трёх точках.

7 Выбор и проверка электрических аппаратов, устанавливаемых во внутренней системе электроснабжения

7.1 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели используются для защиты линий и электрооборудования от их работы в аварийном режиме, который вследствие перегрева может привести к выходу из строя и разрушению как проводников, так и элементов электрооборудования.

«Согласно таблицам 1.7.1 п.1.7.79 ПУЭ в системе TN время отключения питания $t_{оп}$ при напряжении 220 В не должно превышать 0,2 с, а при 380 В - 0,4 с. В соответствии с паспортными данными, выбранных в работе, автоматических выключателей время срабатывания электромагнитного расцепителя много меньше 0,2 с (менее 50 мс)» [4].

Таким образом, для надёжного отключения тока ненормального режима достаточно, чтобы уставка срабатывания автоматического выключателя на 20% была ниже тока короткого замыкания.

На вводе главного распределительного щита выбираем автоматические выключатели типа Legrand DMX3 и выполняем их проверку на соответствие следующим условиям.

Номинальное напряжение выбираемого автоматического выключателя должно быть больше либо равно номинальному напряжению электрической сети в точке его размещения:

$$U_{ном} \geq U_{сети.ном}, \quad (34)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение выбираемого автоматического выключателя;

$U_{сети.ном}$ – номинальное напряжение электрической сети в точке его размещения.

$$U_{ном} = 400В \geq U_{сети.ном} = 380В.$$

Номинальный ток электромагнитного расцепителя выбираемого автоматического выключателя должен превышать продолжительное значение расчётного тока:

$$I_{ном} \geq I_{прод.расч}, \quad (35)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя, выбираемого автоматического выключателя;

$I_{прод.расч}$ – продолжительное значение расчётного тока.

$$I_{ном} = 2500А \geq I_{прод.расч} = 1846,2А.$$

Номинальный ток автоматического выключателя должен превышать номинальное значение тока для отдельного электроприемника или расчётное значение тока для группы ЭП:

$$I_{ном.а} \geq I_{ном}, \quad (36)$$

где $I_{ном.а}$ – номинальное значение тока автоматического выключателя, указанное в его технических характеристиках заводом-изготовителем;

$I_{ном}$ – номинальное значение тока для отдельного электроприемника или расчётное значение тока для группы ЭП.

$$I_{ном.а} = 2000А \geq I_{ном} = 2500А.$$

Выбранный выключатель должен быть проверен по отстройке от срабатывания при пиковых значениях тока:

$$I_{сраб} \geq I_{пик}, \quad (37)$$

где $I_{сраб}$ – значение уставки по току срабатывания выбранного АВ;

$I_{пик}$ – расчётное пиковое значение тока в линии, защищаемой выбираемым выключателем.

$$22,5 \text{ кА} \geq 1,3 \text{ кА.}$$

Выбранный выключатель должен быть проверен на возможность отключения однофазного тока короткого замыкания:

$$I^{(1)} < 1,1I_{сраб}, \quad (38)$$

где $I^{(1)}$ – расчётное значение однофазного тока КЗ.

$$6,7 \text{ кА} < 24,75 \text{ кА.}$$

Выбранный выключатель проверяется на его техническую способность к отключению максимального значения металлического трехфазного тока короткого замыкания:

$$I^{(3)} < I_{откл}, \quad (39)$$

где $I^{(3)}$ – максимальное значение трехфазного тока металлического короткого замыкания;

$I_{откл}$ – предельное значение тока отключения, установленное заводом-изготовителем выключателя.

$$5,59 \text{ кА} < 65 \text{ кА.}$$

Выбранный автоматический выключатель проверяется на устойчивость к динамическому воздействию ударного тока трёхфазного короткого

замыкания:

$$i_{дин} \geq i_{уд}, \quad (40)$$

где $i_{дин}$ – паспортное значение тока электродинамической стойкости, указанное заводом-изготовителем;

$i_{уд}$ – амплитудное значение ударного тока КЗ.

$$48 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА}.$$

По результатам выполненных проверок выбранный АВ типа Legrand DMX3-2500 удовлетворяет всем описанным выше условиям [1].

В таблицу 13 заносим результаты выбора и проверки автоматических выключателей для защиты групповых линий и других центров питания.

Таблица 13 – Результаты выбора и проверки автоматических выключателей для защиты групповых линий

Номер помещения или центр питания	Выбранный АВ типа DPX	$I_{ном}$, А
118	3 250	200
АВР1	DMX-N 2500	2500
ЩК1	3 250	160
Резерв 1	3 250	250
118	3 160	63
Резерв 2	3 250	250
ЩС1.1	3 160	63
Резерв 3	3 250	250
ЩС1.2	3 250	200
Резерв 4	3 250	250
ЩС2	3 250	160
РЩ1	3250	250
ЩО1	3 250	100
РЩ2	3 250	250
ЩО4	Е 3Р 63	50
РЩ3	3 250	250
ЩО5	Е 3Р 63	25
РЩ4	3 250	250
ЩО6	Е 3Р 63	25
РЩ5	3 250	250

Продолжение таблицы 13

Номер помещения или центр питания	Выбранный АВ типа DPX	$I_{ном}, А$
ЩК2	3 630	630
ЩГП к 3 секции	ABB OT800	800
ЩК3	3 160	63
ЩАВР	DMX-N 2500	800
ЩР1	3 250	100
ЩВ6	Е 3Р 63	32
ЩВ3	Е 3Р 63	16
ЩВ2	Е 3Р 63	25
ЩВ4	Е 3Р 63	25
ЩС1.5	Е 3Р 63	25
ЩВ5	Е 3Р 160	80
ЩО3	Е 3Р 63	80
ЩБ1.1	3 250	100
ЩО2	Е 3Р 63	32
ЩБ2.1	3 250	100
ЩС1.4	3 250	100
ВЭРС-1.1	Е 3Р 63	60
ЩС1.3	3 250	250
ВЭРС-1.2	Е 3Р 63	50
75	3 250	160
ЩАО1	Е 3Р 63	16
112	3 250	160
ЩБ2.2	3 250	100
ЩАО5	Е 3Р 63	16
ВЭРС-2.1	Е 3Р 63	50
ЩАО3	Е 3Р 63	16
ВЭРС-1.2	Е 3Р 63	50
ЩАО2	Е 3Р 63	16
ЩАО1	Е 3Р 63	25
ВЭРС-3	Е 3Р 63	50
ЩБ2.3	250	100
Ввод I	3 2500	2500
Ввод II	3 2500	2500

7.2 Выбор и проверка рубильника

Выбираем предварительно для установки на вводе рубильник типа АBB OT2000E03, данный аппарат должен соответствовать напряжению и максимальному значению тока в нормальном режиме в месте установки, а также быть способным пропустить через себя токи короткого замыкания без разрушения внутренних частей.

Номинальное напряжение выбираемого рубильника должно быть больше либо равно номинальному напряжению электрической сети в точке его размещения:

$$U_{ном} \geq U_{сети.ном}, \quad (41)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение выбираемого рубильника;

$U_{сети.ном}$ – номинальное напряжение электрической сети в точке его размещения.

$$1000 \text{ В} \geq 380 \text{ В},$$

Номинальный ток выбираемого рубильника должен превышать продолжительное значение расчётного тока:

$$I_{ном} \geq I_{прод.расч}, \quad (42)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток, выбираемого рубильника;

$I_{прод.расч}$ – продолжительное значение расчётного тока.

$$2000 \text{ А} \geq 1846,2 \text{ А}.$$

Выбранный рубильник проверяется на устойчивость к динамическому воздействию ударного тока трёхфазного короткого замыкания:

$$i_{дин} \geq i_{уд}, \quad (43)$$

где $i_{дин}$ – паспортное значение тока электродинамической стойкости, указанное заводом-изготовителем рубильника;

$i_{уд}$ – амплитудное значение ударного тока КЗ.

$$55 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА}.$$

По результатам выполненных проверок выбранный рубильник типа АВВ ОТ2000Е03 удовлетворяет всем описанным выше условиям.

7.3 Выбор и проверка плавких предохранителей

Выбираем предохранитель типа ЕАТОН 170М6528 2000А и выполняем его проверку на соответствие следующим условиям:

Номинальное напряжение выбираемого предохранителя должно быть больше либо равно номинальному напряжению электрической сети в точке его размещения:

$$U_{ном} \geq U_{сети.ном}, \quad (44)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение предохранителя;

$U_{сети.ном}$ – номинальное напряжение электрической сети в точке его размещения.

$$1000 \text{ В} \geq 380 \text{ В}.$$

Номинальный ток плавкой вставки выбираемого предохранителя должен превышать продолжительное значение расчётного тока:

$$I_{ном.вс.} \geq I_{прод.расч.}, \quad (45)$$

где $I_{ном.вс.}$ – номинальный ток плавкой вставки выбираемого предохранителя;

$I_{прод.расч.}$ – расчетный ток нагрузки, А.

$$2000 \text{ А} \geq 1846,2 \text{ А}.$$

Номинальный ток предохранителя должен превышать номинальное значение тока для отдельного электроприемника или расчётное значение

тока для группы ЭП:

$$I_{\text{ном.пр.}} \geq I_{\text{ном.вс.}}, \quad (46)$$

где $I_{\text{ном.пр.}}$ – номинальное значение тока предохранителя, установленное заводом-изготовителем.

$$2000 \text{ A} \geq 2000 \text{ A}.$$

Выбираемый предохранитель должен удовлетворять условию чувствительности при возникновении тока однофазного короткого замыкания:

$$\frac{I^{(1)}}{I_{\text{ном.вс.}}} \geq 3,$$

где $I^{(1)}$ – расчётное значение однофазного тока КЗ.

$$\frac{6700}{2000} = 3,35 \geq 3.$$

По результатам выполненных проверок выбранный предохранитель типа EATON 170M6528 2000A удовлетворяет всем описанным выше условиям.

Выводы по разделу. Произведены выбор и проверка устанавливаемых в системе внутреннего электроснабжения электрических аппаратов, выбраны автоматические выключатели, рубильники и предохранители. Произведена их проверка по отключающей способности максимальных значений трехфазного тока короткого замыкания и минимальных значений однофазных токов КЗ, а также устойчивость к динамическому воздействию ударного тока.

Заключение

В работе рассматривались вопросы проектирования системы электроснабжения торгового центра.

Целью бакалаврской работы являлся обоснованный выбор всех элементов внутреннего электроснабжения торгового центра, направленный на обеспечение надёжного электроснабжения потребителей при минимуме затрат на строительство и эксплуатацию системы электроснабжения.

Суммарная установленная мощность расположенных в торговом центре электроприемников составляет 1667,5 кВт, при этом расчётное значение нагрузки равно 1181,2 кВт. Суммарное потребление электрической энергии по данным расчётных счётчиков за годовой интервал времени в последнем расчётном периоде составило 6496600 кВт·ч.

Приведена методика определения расчётных электрических нагрузок от силовых электроприемников, показан пример расчета для отдельных групп потребителей и определены суммарные нагрузки по торговому центру.

По методу коэффициента использования светового потока произведён расчёт необходимого числа светодиодных светильников для установки в отдельных помещениях торгового центра. Определены параметры помещений, требуемые значения нормируемой освещённости, поправочные коэффициенты на степень загрязнённости помещения и периодичность его обслуживания, определены итоговые расчётные нагрузки, потребление активной, реактивной и полной мощности системой искусственного освещения торгового центра.

По результатам расчетов нагрузки торгового центра и с учётом потерь в силовых трансформаторах была определена необходимая мощность силовых трансформаторов для питания потребителей, в том числе относящихся к первой категории по надёжности электроснабжения. Произведён расчёт и выбор номинальной мощности автоматических конденсаторных установок, размещаемых на стороне низкого напряжения

трансформаторной подстанции. Установка устройств компенсации реактивной мощности позволяет снизить номинальную мощность силовых трансформаторов, таким образом с учётом ввода в эксплуатацию перспективной нагрузки кондитерского и хлебобулочного цехов принимаем к установке на трансформаторной подстанции 2 сухих силовых трансформатора типа ТСЗ мощностью по 1600 кВА каждый.

Исходя из условий размещения и требований нормативных документов выбраны марки кабелей для использования как в сети электроснабжения силовых электроприемников, так и в сети рабочего и аварийного освещения. Произведён выбор сечений кабелей как к отдельным электроприемникам, так и групповым узлам питания, определена величина суммарных потерь напряжения до наиболее удаленного от источника питания электроприемника, которым являлся вентиляционный агрегат. Установлено, что максимальное отклонение напряжения не превышает 4%, что укладывается в установленное в ГОСТ 32144-2013 нормативное значение.

Приведена методика для проведения расчёта токов короткого замыкания. Определены расчётные точки для определения токов КЗ с целью проверки коммутационных аппаратов. Произведён расчёт сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения, которая была построена на основании расчётной схемы. Определены суммарные значения сопротивлений до расчётных точек. Выполнен расчёт действующих значений трёхфазного, двухфазного и однофазного тока короткого замыкания, а также амплитудного значения ударного тока короткого замыкания в трёх точках.

Произведены выбор и проверка устанавливаемых в системе внутреннего электроснабжения электрических аппаратов, выбраны автоматические выключатели, рубильники и предохранители. Произведена их проверка по отключающей способности максимальных значений трехфазного тока короткого замыкания и минимальных значений однофазных токов КЗ, а также устойчивость к динамическому воздействию ударного тока.

Список используемых источников

1. Автоматические выключатели Legrand [Электронный ресурс]. URL: https://legrand.ru/upload/iblock/8db/DC356_DMХ3.pdf (Дата обращения 12.12.2021).
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения: учебно-методическое пособие. Издательство ТГУ: Тольятти, 2016. 78 с.
3. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2019. URL: <https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 25.02.2022).
4. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации 01.01.2015. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108284> (Дата обращения 16.03.2022).
5. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ [Электронный ресурс]: Межгосударственный стандарт от 01.01.1995. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004630> (Дата обращения 06.12.2021).
6. ГОСТ 53768-2010 Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 22 с.
7. Группа компаний «Световые технологии». Каталог LED светильников [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/commercial-luminaires/office-luminaires/> (Дата обращения 17.04.22).
8. Дизель генераторная установка. Завод энергетического оборудования «Электроспецтехника» [Электронный ресурс]. URL:

https://www.estech.ru/poleznaya_informatsiya/dizelnye-generatory-serii-ad/dizel-generatornaya-ustanovka-ad-200s-t400-ad-200-na-dvigatele-yamz/ (Дата обращения 08.03.22).

9. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: справочные материалы по электрооборудованию [Электронный ресурс]. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SEROB/ucheberab3/Tabstud3/M_Kabishev_Obuho_v_Raschet.pdf (Дата обращения: 09.12.2021).

10. Конденсаторная установка УКМ-58 0.4-167-33.3. «Микрон» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mircond.com/kondensatornye-ustanovki/kondensatornaya-ustanovka-ukm-58-0-4-167-33-3-1900x450x440/> (Дата обращения 05.01.22).

11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (Дата обращения 07.02.2022).

12. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru-bezh.ru/uploads/instrukcii/rd/%D0%A0%D0%94%2034.21.122-87.pdf> (Дата обращения: 15.12.2021).

13. Силовой трансформатор ТСЗ-1600 [Электронный ресурс]. URL: https://slavenergo.ru/transformator_tsz_1600 (дата обращения 13.02.2022).

14. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: Свод правил по проектированию и строительству от 01.01.2004. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (Дата обращения 03.03.2022).

15. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]: Свод правил от 05.08.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (Дата обращения 18.12.2021).

16. Calculation of short-circuit currents [Электронный ресурс]. URL: <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/techniques/3357/3357-ect158.pdf> (Дата обращения 09.12.21).

17. Daza S. A. Electric Power System Fundamentals: tutorial. London: Artech house, 2016. 405 p.

18. Panteleev V. Optimization model of power supply system of industrial enterprise. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.

19. Sanober Hassan Khattak, Michael Oates, Rick Greenough Towards improved energy and recourse management in manufacturing // Energies. 2018. № 11(4). С. 1-15

20. Ugrad H., Winker W. Protection Techniques in Electrical Energy System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.