

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 административного здания

Обучающийся

Ю.Н. Около-Кулак

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

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

Тольятти 2024

## **Аннотация**

ВКР «Проектирование системы электроснабжения административного здания» посвящена разработке проекта, отвечающего современным нормативным требованиям и обеспечивающего надежное, безопасное и экономичное электроснабжение всех объектов и систем здания. В современном мире административные здания должны соответствовать высоким стандартам безопасности, надежности, функциональности и энергоэффективности. Данная работа направлена на создание проекта, удовлетворяющего всем этим требованиям.

В рамках ВКР будет проведен комплексный анализ исходных данных, включающий изучение нормативной документации, определение функционального назначения здания, анализ планировки, этажности, площади и назначения помещений. На основе этого анализа будет выбран оптимальный вариант электроснабжения, учитывающий тип электроснабжения, источник электроснабжения, схему электроснабжения, тип электропроводки и подбор необходимого электротехнического оборудования.

Проект будет проверен на соответствие требованиям безопасности, с учетом определения уровня электробезопасности проекта, проверки соответствия требованиям ПУЭ и разработки мер по повышению безопасности.

В результате выполнения ВКР будут получены навыки проектирования электроснабжения, углублены знания в области электротехники и нормативно-правового регулирования, а также сформированы аналитические навыки и творческий подход к решению задач. Разработанный проект станет основой для реализации электроснабжения административного здания, обеспечивая его безопасную и эффективную работу.

## Содержание

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                | 5  |
| 1. Анализ исходных данных.....                               | 7  |
| 2. Расчет электрических нагрузок здания.....                 | 12 |
| 2.1 Групповая установленная активная мощность.....           | 12 |
| 2.2 Коэффициенты использования и мощности.....               | 12 |
| 2.3 Расчетная нагрузка.....                                  | 12 |
| 2.4 Максимальный расчетный ток.....                          | 13 |
| 2.5 Результаты расчета.....                                  | 13 |
| 2.6 Компенсация реактивной мощности.....                     | 15 |
| 3. Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....      | 17 |
| 3.1 Выбор мощности трансформатора.....                       | 17 |
| 3.2 Выбор стандартной мощности трансформатора.....           | 17 |
| 3.3 Проверка коэффициента загрузки.....                      | 18 |
| 3.4 Расчет токов.....                                        | 18 |
| 3.5 Выбор типа трансформатора.....                           | 20 |
| 3.6 Обоснование выбора типа трансформатора.....              | 20 |
| 3.7 Экономическое обоснование.....                           | 21 |
| 4. Расчет токов короткого замыкания.....                     | 23 |
| 4.1. Определение расчетных условий.....                      | 23 |
| 4.2 Расчетная схема замещения.....                           | 23 |
| 4.3 Определение параметров элементов схемы.....              | 24 |
| 4.4 Расчет токов короткого замыкания.....                    | 25 |
| 5. Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников..... | 29 |
| 5.1 Выбор и расчет проводников.....                          | 29 |
| 5.2 Выбор и расчет электрических аппаратов.....              | 29 |
| 6. Выбор оборудования и его обоснование.....                 | 41 |
| 6.1. Вакуумный выключатель нагрузки для ТП.....              | 41 |
| 6.2 Секционный разъединитель.....                            | 42 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 7. Выбор устройств релейной защиты и автоматики.....                 | 44 |
| 7.1 Назначение устройств релейной защиты и автоматики.....           | 45 |
| 7.2 Выбор устройств релейной защиты для силового трансформатора..... | 45 |
| 7.3 Расчет параметров защиты.....                                    | 45 |
| 7.4 Выбор и расчет устройств автоматики.....                         | 48 |
| Заключение.....                                                      | 49 |
| Список используемых источников.....                                  | 52 |

## **Введение**

В условиях исторически сложившейся городской жилищной застройки с недостаточным количеством административно-торговых площадей, строительство новых зданий в условиях сложившихся агломераций зачастую становится единственным выходом. Реконструкция существующих зданий, особенно построенных с применением методов крупнопанельного домостроения, в большинстве случаев не позволяет выполнить архитектурные объемно-планировочные решения, обеспечивающие сочетание многофункциональности и гибкости планировок, имеются определенные трудности в связи с увеличением нагрузок для существующих коммуникаций.

Город Минск не является в этом смысле исключением. Преобладание в городской застройке зданий крупнопанельного домостроения с сочетанием ограниченного количества свободных площадей предполагает решение данного вопроса в поиске размещения административно-торговых зданий в местах прохождения логистических маршрутов и пассажиропотоков, на границах плотной городской жилищной застройки. Одним из мест, соответствующим таким противоречивым критериям, является минская кольцевая дорога (МКАД).

Плотные пассажиропотоки в сочетании с наличием свободных площадей обеспечивают достаточную заполняемость и проходимость торговых помещений. Сочетание административных и торговых помещений в разрабатываемом проекте способствуют универсальности использования здания.

В рамках выполнения выпускной работы будут решены следующие задачи:

- изучение нормативной документации по проектированию электроснабжения зданий, включая ГОСТы, СНиПы, Правила устройства электроустановок (ПУЭ) и технические условия (ТУ);

- анализ существующей проектной документации и технических условий, учитывая функциональное назначение здания, его планировку, этажность, площадь и назначение помещений;
- выбор оптимальных технических решений по электроснабжению, включая тип электроснабжения (централизованное, децентрализованное), тип источника электроснабжения (центральная подстанция, трансформаторная подстанция), схему электроснабжения (радиальная, кольцевая), тип электропроводки (открытая, скрытая), подбор электротехнического оборудования (кабели, провода, аппараты защиты, устройства автоматики);
- разработка проектной документации, включая принципиальные схемы электроснабжения, монтажные схемы, спецификации оборудования и материалов, технические условия на выполнение электромонтажных работ;
- проведение расчетов, включая расчет нагрузок на электроустановки, расчет сечений кабелей и проводов, расчет токов короткого замыкания, определение защитных характеристик аппаратов;
- проведение экономической оценки проекта, включая определение стоимости проекта, стоимости материалов, оборудования, работ, а также анализ окупаемости проекта;
- анализ безопасности, включая определение уровня электробезопасности проекта, проверку соответствия проекта требованиям ПУЭ и разработку мер по повышению уровня электробезопасности.

Проектом предусматривается как строительство новых линий электроснабжения подземного заложения, так и реконструкция существующих мощностей.

Актуальность работы также связана с широким использованием отечественного оборудования и материалов в целях обеспечения экономичности и функциональности проекта.

## 1 Анализ исходных данных

Проектом предусматривается строительство многофункционального здания по обслуживанию автомобилей со встроенными помещениями различного назначения. Планировка помещений предусматривает возможность изменения технологической оснастки и функционального зонирования помещений, вследствие изменения возможных арендаторов и специфики их требований. Архитектурный образ здания решен с применением современных материалов.

Каркас выполнен монолитный железобетонный, стены наружные – навесные сэндвич–панели, кровля плоская.

Учтены факторы, влияющие на внешний вид:

- здание общественного назначения с выраженной технологической направленностью;
- расположение в непосредственной близости МКАД;
- существующий рельеф площадки;
- современные тенденции в отечественной архитектуре.

В плане здание прямоугольное, общей площадью 2300 м<sup>2</sup>. На первом этаже расположен торговый зал и помещения для обслуживания населения. Используя существующий рельеф местности, подвальный (цокольный) этаж открывается на всю высоту фасада, выходящего на МКАД.

В подвальной части располагаются помещения кладовых, гардеробных, технические. В открытой части расположены административные помещения, гараж на 1 машину, СТО на 2 поста.

Этажи между собой объединяются технологической лестницей.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники объекта по ТУ относятся к II категории (условная I категория по надежности электроснабжения – электроприемники пожарной безопасности подключены от двух независимых источников непосредственно через АВР).

К потребителям, питающимся непосредственно от АВР, относятся:

- пожарная автоматика;
- аварийное электроосвещение;
- аппаратура охранно-пожарной сигнализации и оповещение о пожаре;
- аппаратура связи [15].

Помещения административного здания по ремонту и обслуживанию автомобилей со встроенным магазином сопутствующих товаров оборудованы системами освещения, бытовыми электроприборами, системами кондиционирования и вентиляции, технологическим оборудованием. Напряжение сети 380/220 В с глухозаземленной нейтралью.

Проектируемое одноэтажное многофункциональное здание с подвалом относится ко II категории надежности электроснабжения, что подразумевает допустимость перерывов в электроснабжении для большинства потребителей, но при этом требует бесперебойного питания для систем, обеспечивающих пожарную безопасность (условная I категория).

Для обеспечения надежного электроснабжения объекта предусмотрено подключение к двухтрансформаторной подстанции ТП–884. Два независимых ввода от подстанции, выполненные кабелями 2×АВБбШв, проложенными в земле, минимизируют риск полного отключения электроэнергии.

Центральным элементом системы распределения электроэнергии является главное вводно–распределительное устройство (ГРЩ). В ГРЩ установлена секция АВР (автоматического ввода резерва), которая обеспечивает бесперебойное питание потребителей I категории: пожарной автоматики, аварийного освещения, аппаратуры охранно–пожарной сигнализации и оповещения о пожаре, а также аппаратуры связи. Это гарантирует работу систем, критически важных для безопасности людей, даже при аварии на одном из вводов.

Остальные потребители (2 категория) получают питание от двух разных вводов ВРУ (вводно–распределительного устройства), что также повышает надежность электроснабжения. В случае аварии на одном из вводов,

электроснабжение будет продолжено от другого ввода, минимизируя время простоя оборудования.

Система распределения электроэнергии построена с использованием групповых щитов, каждый из которых отвечает за определенную группу потребителей:

- ЩО (освещение 1 этажа): питает осветительные установки здания, обеспечивая комфортные условия работы и пребывания в помещениях.
- ЩО-П (освещение подвала): питает осветительные установки подвала, а также встроенных помещений цокольной части административного здания.
- ЩАО (аварийное освещение): питает аварийные светильники, указывающие пути эвакуации и обеспечивающие освещение зон безопасности в случае аварийных ситуаций.
- ШУНО (наружное освещение): обеспечивает освещение прилегающей территории в темное время суток.
- ЩСВ (автоматика вентиляции): отвечает за питание электродвигателей вентиляционных установок. Автоматические выключатели с независимым расцепителем обеспечивают отключение вентиляции при пожаре для предотвращения распространения дыма.
- ЩС (розетки и силовое оборудование): питает розеточные группы и стационарное силовое оборудование, обеспечивая подключение различной техники и оборудования.
- ЩСТ (технологическое оборудование): отвечает за питание технологического оборудования, установленного в здании.
- ШУ (автоматика топочной): обеспечивает питание системы управления топочной.

Все групповые щиты получают питание напрямую от ГРЩ, что упрощает схему электроснабжения и облегчает эксплуатацию. Групповые

щиты установлены в электротехнических нишах, в коридорах и технологических помещениях, обеспечивая удобный доступ для обслуживания.

В качестве кабелей для внутренних сетей используется кабель ВВГнг-LS, который прокладывается в лотках, трубах ПВХ и штробах, в зависимости от требований к эстетике и безопасности [2].

Вывод по разделу 1. В целом, система электроснабжения проектируемого здания спроектирована с учетом требований II категории надежности и обеспечивает бесперебойное питание потребителей I категории, что является критически важным для обеспечения безопасности людей и сохранности имущества. Выбор качественных материалов и оборудования, а также грамотное проектирование, обеспечат эффективную и бесперебойную работу электроустановки.

Для дальнейшего повышения надежности и эффективности системы электроснабжения можно рассмотреть возможность внедрения источников бесперебойного питания (ИБП) для критически важного оборудования, дизель-генераторных установок (ДГУ) для резервирования питания, а также систем учета и автоматизации управления электропотреблением.

Проведенный анализ исходных данных по электроснабжению проектируемого multifunctional здания позволяет сделать следующие выводы:

Система электроснабжения спроектирована с учетом требований II категории надежности и обеспечивает бесперебойное питание потребителей I категории (пожарная безопасность), что является критически важным для обеспечения безопасности людей и сохранности имущества.

Выбор двухтрансформаторной подстанции в качестве источника питания, применение секции АВР, питание потребителей от двух разных вводов ВРУ, а также использование качественных материалов и оборудования обеспечивают высокий уровень надежности системы электроснабжения и

удобство эксплуатации системы электроснабжения административного здания в целом.

Проектирование системы распределения электроэнергии с использованием групповых щитов обеспечивает гибкость и удобство эксплуатации [10].

Таким образом, проектируемая система электроснабжения административного здания соответствует требованиям по надежности и безопасности, обеспечивая необходимые условия для функционирования многофункционального здания.

Дальнейшая оптимизация системы позволит повысить эффективность проектируемой системы электроснабжения административного здания и снизить эксплуатационные расходы.

## **2 Расчет электрических нагрузок здания**

Расчет электрических нагрузок административно–торгового здания выполнен в соответствии с СП 31-110-2003.

### **2.1 Групповая установленная активная мощность**

$$P_{уст} = n \cdot P_n, \quad (2.1)$$

где  $P_{уст}$  – групповая установленная активная мощность;

$n$  – число электроприемников;

$P_n$  – номинальная мощность одного электроприемника, кВт.

### **2.2 Коэффициенты использования и мощности**

Коэффициенты использования электрооборудования приняты на основе фактического времени работы за смену. Для электроприемников первой категории надежности электроснабжения коэффициент использования принят равным 1.

Коэффициенты мощности приняты на основании паспортов силового электрооборудования.

### **2.3 Расчетная нагрузка**

Расчетная активная мощность:

$$P_a = P_{уст} \cdot K_c, \quad (2.2)$$

где  $P_a$  – расчетная активная мощность;

$P_{уст}$  – групповая установленная активная мощность;

$K_c$  – коэффициент спроса.

Расчетная реактивная мощность:

$$P_p = P_a \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.3)$$

где  $P_p$  – расчетная реактивная мощность;

$P_a$  – расчетная активная мощность;

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

Расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{(P_a^2 + P_p^2)}, \quad (2.4)$$

где  $S_p$  – расчетная полная мощность;

$P_a$  – расчетная активная мощность;

$P_p$  – расчетная реактивная мощность.

## 2.4 Максимальный расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.5)$$

где  $I_p$  – расчетный ток;

$S_p$  – расчетная полная мощность;

$U_H$  – номинальное напряжение сети, кВ.

## 2.5 Результаты расчета

Расчет нагрузок для потребителей представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сбор нагрузок

| Щит    | Наименование нагрузки                      | $P_n$ , кВт | n | $P_{n\Sigma}$ , кВт | $K_c$ | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , квар | $S_p$ , кВА | $I_p$ , А |
|--------|--------------------------------------------|-------------|---|---------------------|-------|---------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| ЩО–1.1 | Левая часть освещение                      | 9,35        | 1 | 9,35                | 0,9   | 0,9           | 0,48                       | 8,42        | 4,04         | 9,34        | 61,82     |
| ЩО–1.2 | Правая часть освещение                     | 5,01        | 1 | 5,01                | 0,9   | 0,95          | 0,33                       | 4,51        | 1,49         | 4,75        | 12,16     |
| ШУНО   | Парковка и архитектурная подсветка         | 3           | 1 | 3                   | 1     | 0,8           | 0,75                       | 3           | 2,25         | 3,75        | 5,45      |
| ШУ–1   | Шкаф управления котлом                     | 0,25        | 1 | 0,25                | 0,8   | 0,89          | 0,51                       | 0,2         | 1,02         | 1,04        | 1,51      |
| ШУ–2   | Шкаф управления котлом                     | 0,25        | 1 | 0,25                | 0,8   | 0,89          | 0,51                       | 0,2         | 1,02         | 1,04        | 1,51      |
| ШУ–3   | Шкаф управления котлом                     | 0,25        | 1 | 0,25                | 0,8   | 0,89          | 0,51                       | 0,2         | 1,02         | 1,04        | 1,51      |
| ША     | Шкаф автоматики                            | 0,3         | 1 | 0,3                 | 0,8   | 0,89          | 0,51                       | 0,24        | 0,12         | 0,27        | 0,4       |
| ЦСТ    | Балансировочный стенд СТО                  | 0,25        | 1 | 0,25                | 0,6   | 0,75          | 0,88                       | 0,15        | 0,17         | 0,23        | 0,3       |
| ЦСТ    | Полуавтоматический шиномонтажный стенд СТО | 0,75        | 1 | 0,75                | 0,6   | 0,75          | 0,88                       | 0,45        | 0,4          | 0,6         | 0,9       |
| ЦСТ    | Подъемник двухстоечный                     | 1,5         | 2 | 3                   | 0,6   | 0,75          | 0,88                       | 1,8         | 1,58         | 2,39        | 3,5       |
| ЦСТ    | Компрессор                                 | 2,2         | 1 | 2,2                 | 0,6   | 0,75          | 0,88                       | 0,44        | 1,94         | 1,99        | 2,9       |
| ЦСТ    | Станок для правки дисков                   | 1,5         | 1 | 1,5                 | 0,6   | 0,75          | 0,88                       | 0,3         | 0,9          | 0,95        | 1,4       |
| ЩО–П/1 | Рабочее освещение и розетки подвала        | 12,18       | 1 | 12,18               | 0,9   | 0,9           | 0,48                       | 10,96       | 5,26         | 11,19       | 51,59     |
| ШСВ1   | Тепловентилятор FB9S                       | 0,092       | 3 | 0,276               | 0,75  | 0,8           | 0,75                       | 0,21        | 0,16         | 0,26        | 0,4       |
| ШСВ1   | Тепловентилятор KMFB45                     | 0,28        | 3 | 0,84                | 0,75  | 0,8           | 0,75                       | 0,63        | 0,47         | 0,78        | 1,1       |
| ШСВ1   | Вентилятор радиальный                      | 1,56        | 1 | 1,56                | 0,75  | 0,8           | 0,75                       | 1,17        | 0,88         | 1,46        | 2,11      |
| ЦСВП   | Тепловентилятор FB9S                       | 0,092       | 3 | 0,276               | 0,65  | 0,8           | 0,75                       | 0,18        | 0,14         | 0,23        | 0,3       |
| ЦСВП   | Тепловентилятор отопительный               | 3,0         | 2 | 6,0                 | 0,75  | 0,75          | 0,88                       | 4,5         | 3,96         | 5,99        | 8,66      |
| Итого  |                                            |             |   |                     |       | 0,89          | 0,51                       | 37,54       | 26,82        | 47,3        | 157,52    |

Потребители, представленные в таблице 1, запитаны от ВРУ–1. Торговое иное оборудование помещений первого этажа планируется запитывать от перспективной ВРУ–2. Планируется первоначально использовать данные помещения как арендные для обустройства магазина по продаже автозапчастей. В этом случае отсутствует необходимость использования мощностей ВРУ–2, так как освещение площадей и неэнергоемкое оборудование кассовой зоны обеспечивается за счет ВРУ–1. В дальнейшем, в случае смены якорного арендатора либо функционального

назначения помещений, предполагающего значительное увеличение нагрузки, питание дополнительных мощностей будет осуществляться через перспективную ВРУ–2.

Ориентировочные нагрузки для перспективной ВРУ–2 по заданию заказчика представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сбор нагрузок магазин

| Щит   | Наименование нагрузки | $P_n$ , кВт | n | $P_{n\Sigma}$ , кВт | $K_c$ | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , квар | $S_p$ , кВА | $I_p$ , А |
|-------|-----------------------|-------------|---|---------------------|-------|---------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| ВРУ–2 | Магазин (перспект.)   | 255         | 1 | 255                 | 0,9   | 0,9           | 0,48                       | 229,5       | 110,2        | 254,6       | 367       |

Кроме того, от реконструируемого ТП запитано существующее наружное освещение МКАД.

Ориентировочные нагрузки наружного освещения МКАД с сопутствующими потребителями сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Сбор нагрузок освещение МКАД

| Щит   | Наименование нагрузки | $P_n$ , кВт | n | $P_{n\Sigma}$ , кВт | $K_c$ | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , квар | $S_p$ , кВА | $I_p$ , А |
|-------|-----------------------|-------------|---|---------------------|-------|---------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| ВРУ–2 | Освещение МКАД        | 70,1        | 1 | 70,1                | 1     | 0,9           | 0,48                       | 70,1        | 33,6         | 77,7        | 112       |

## 2.6 Компенсация реактивной мощности

Для потребителей жилых и общественных зданий компенсация реактивной мощности, как правило, не требуется, если в нормальном режиме работы расчетная мощность компенсирующего устройства на каждом рабочем вводе не превышает 50 квар.

Это соответствует суммарной расчетной нагрузке указанных потребителей 250 кВт.

Вывод по разделу 2. В результате расчета электрических нагрузок получена расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ равная 382,2 кВА. На основе полученных расчетных нагрузок далее выбраны сечения кабелей и номиналы автоматических выключателей с учетом требований ПУЭ.

Правильный выбор оборудования и проводников согласно выполненным расчетам, а также использование качественных материалов и оборудования обеспечат требуемый уровень надежности системы электроснабжения и удобство эксплуатации системы электроснабжения административного здания в целом [7].

Таким образом, проектируемая система электроснабжения будет отвечать требованиям по надежности и безопасности, обеспечивая необходимые условия для функционирования многофункционального здания.

### **3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов**

Расчет электрических нагрузок административно–торгового здания выполнен в соответствии с СП 31-110-2003.

#### **3.1 Выбор мощности трансформатора**

Для обеспечения надёжного электроснабжения потребителей II категории рекомендуется резервирование питания.

Примем схему питания с двумя трансформаторами, работающими по схеме «один рабочий – один резервный».

Выбор мощности и типа трансформаторов производим с учетом требований [12].

Так как представлены потребители I и II категории, то  $K_3 = 0,6 \dots 0,75$ , а число трансформаторов не менее двух.

Выбор мощности трансформатора производится по формуле:

$$S_{mp} \geq \frac{S}{n \cdot K_3}, \quad (3.1)$$
$$S_{тр} = \frac{191,1}{1 \cdot 0,6} = 318,5 \text{ кВА},$$

где  $S_{mp}$  – минимальная мощность трансформатора;

$n$  – число трансформаторов на подстанции ( $n=2$ );

$S$  – мощность данной подстанции;

$K_3 = 0,65$  – коэффициент загрузки.

#### **3.2 Выбор стандартной мощности трансформатора**

Ближайшая стандартная мощность трансформатора, превышающая расчетную, составляет 400 кВА.

### 3.3 Проверка коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{S}{n \cdot S_{\text{тр}}}, \quad (3.2)$$

$$K_3 = \frac{191,1}{1 \cdot 400} = 0,48,$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$S$  – суммарная мощность электроприемников, подключенных к трансформатору;

$n$  – количество трансформаторов в системе электроснабжения;

$S_{\text{тр}}$  – номинальная мощность одного трансформатора.

Полученный коэффициент загрузки (0,48) меньше заданного (0,6), но это допустимо, так как выбран ближайший больший стандартный размер трансформатора.

### 3.4 Расчет токов

Номинальный ток трансформатора:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \approx 577 \text{ A},$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток;

$S_{\text{ном}}$  – номинальная полная мощность трансформатора или другого электрического устройства;

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

Расчетный ток нагрузки в рабочем режиме:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (3.4)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{191,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \approx 276 \text{ A},$$

где  $I_{\text{расч}}$  – расчетный ток;

$S_{\text{расч}}$  – расчетная полная мощность, которая учитывает как активную, так и реактивную составляющие и определяется с учетом коэффициента загрузки и коэффициента мощности;

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

Расчетный ток нагрузки в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{расч.авар}} = \frac{S_{\text{полн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (3.5)$$

$$I_{\text{расч.авар}} = \frac{382,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \approx 552 \text{ A},$$

где  $I_{\text{расч.авар}}$  – расчетный ток в аварийном режиме;

$S_{\text{полн}}$  – полная мощность системы электроснабжения в аварийном режиме, которая учитывает как активную, так и реактивную составляющие;

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

Коэффициент загрузки по току.

Рабочий режим:

$$K_{3I} = \frac{I_{\text{расч}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (3.6)$$

$$K_{3I} = \frac{276}{577} \approx 0,48,$$

где  $K_{3I}$  – коэффициент загрузки по току;

$I_{\text{расч}}$  – расчетный ток;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток.

Послеаварийный режим:

$$K_{3I \text{ авар}} = \frac{I_{\text{расч авар}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (3.7)$$

$$K_{з. I \text{ авар}} = \frac{552}{577} \approx 0,96,$$

где  $K_{з. I \text{ авар}}$  – коэффициент загрузки по току в аварийном режиме;

$I_{\text{расч. авар}}$  – расчетный ток в аварийном режиме;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток.

### 3.5 Выбор типа трансформатора

Учитывая перспективу роста нагрузок, выбираем трансформатор типа ТМГ 12–400/10–У1 мощностью 400 кВА (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трансформатор ТМГ 12–400/10–У1

### 3.6 Обоснование выбора типа трансформатора

Запас по мощности: Выбор трансформатора 400 кВА обеспечивает запас по мощности, позволяющий подключать дополнительные нагрузки в будущем, избегая замены трансформатора.

Улучшенные технико–экономические показатели: трансформаторы большей мощности, как правило, имеют более высокий КПД и меньшие потери холостого хода, что ведет к снижению эксплуатационных расходов.

Универсальность: трансформаторы ТМГ 12–400/10–У1 широко применяются в сетях 10/0,4 кВ, что упрощает замену и ремонт в случае необходимости.

Надежность и долговечность: ТМГ отличаются высокой надежностью и долгим сроком службы.

Простота обслуживания: конструкция ТМГ достаточно проста, что облегчает их монтаж и обслуживание.

Герметичность: ТМГ – герметичные трансформаторы, что исключает контакт масла с окружающей средой и повышает их пожаробезопасность.

Соответствие климатическим условиям: трансформаторы ТМГ адаптированы к климатическим условиям Беларуси.

### **3.7 Экономическое обоснование**

Выбор трансформатора 400 кВА, несмотря на более высокую начальную стоимость, обоснован следующими факторами:

- Учет роста нагрузки: запас по мощности позволяет избежать затрат на замену трансформатора в случае увеличения потребления электроэнергии в будущем.
- Снижение эксплуатационных затрат: более высокий КПД и меньшие потери холостого хода ведут к экономии на электроэнергии в долгосрочной перспективе.
- Увеличение срока службы: трансформаторы, работающие с частичной загрузкой, как правило, имеют больший срок службы, что снижает затраты на их замену [11].

Вывод по разделу 3. В результате расчётов выбраны два трансформатора типа ТМГ 12–400/10–У1.

Коэффициенты загрузки по мощности и току в рабочем режиме составили 0,48.

Коэффициенты загрузки по мощности и току в послеаварийном режиме составили 0,96.

Выбранная схема питания с двумя трансформаторами обеспечивает надёжное электроснабжение потребителей как в рабочем, так и в послеаварийном режиме. Правильный выбор трансформаторов согласно выполненных расчетов, а также использование качественных материалов и оборудования обеспечат требуемый уровень надежности системы электроснабжения и удобство эксплуатации системы электроснабжения административного здания в целом, а также возможность дальнейшего совершенствования и модернизации системы.

Трансформаторы имеют достаточный запас мощности для будущих подключений, что делает выбранное решение экономически целесообразным в долгосрочной перспективе.

## **4. Расчет токов короткого замыкания**

Для обеспечения надежной работы электроустановки административно–торгового здания, защиты электрооборудования и персонала от опасных последствий коротких замыканий (КЗ), необходимо провести расчет токов КЗ.

### **4.1. Определение расчетных условий**

Расчетные условия для КЗ выбираются наиболее тяжелые, но достаточно вероятные.

Для выбора или проверки параметров электрооборудования принято трехфазное КЗ, как наиболее опасный вид.

Расчетные точки КЗ выбираются в местах подключения наиболее мощного оборудования и на шинах 0,4 кВ главного распределительного щита (ГРЩ) здания.

Для расчета токов КЗ в электроустановке административно–торгового здания примем следующие исходные данные:

- Трансформатор: ТМГ 12–400/10–У1.
- Кабель: АВБбШв 4×120 мм<sup>2</sup>.
- Длина кабеля:  $L = 100$  м.
- Напряжение: 10/0,4 кВ.
- Ток КЗ на подстанции (точка К1):  $I_{\text{по}} = 10$  кА.

### **4.2 Расчетная схема замещения**

Для проведения расчетов необходимо представить электрическую сеть здания в виде упрощенной схемы замещения, состоящей из сопротивлений, эквивалентных сопротивлениям реальных элементов сети. Схема замещения для рассматриваемого случая представлена на рисунке 2.

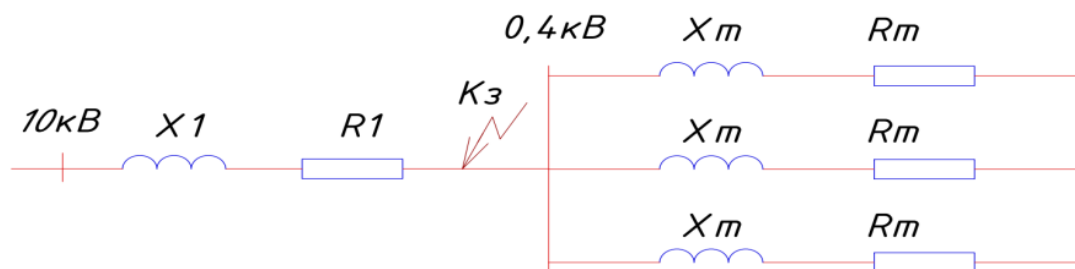


Рисунок 2 – Условная схема замещения

### 4.3 Определение параметров элементов схемы

#### 4.3.1 Трансформатор

Номинальная мощность:  $S_{\text{ном}} = 400$  кВА.

Напряжение короткого замыкания:  $U_{k\%} = 10,5\%$  (для ТМГ 12–400/10–У1).

Сопротивление короткого замыкания:

$$Z_k = \frac{U_{k\%} \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (4.1)$$

$$Z_k = \frac{10,5 \cdot 0,42}{100 \cdot 400} = 0,0042 \text{ Ом},$$

где  $Z_k$  – сопротивление короткого замыкания трансформатора, Ом;

$U_{k\%}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ;

$S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$X_k = Z_k$  (пренебрегаем активным сопротивлением обмоток) = 0,0042 Ом;

$X_k$  – реактивное сопротивление короткого замыкания трансформатора, Ом.

#### 4.3.2 Кабель

Сечение:  $S = 120 \text{ мм}^2$ .

Количество жил:  $n = 4$ .

Активное сопротивление 1 км кабеля:  $r_0 = 0,292 \text{ Ом/км}$  (для АВБбШв).

Реактивное сопротивление 1 км кабеля:  $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$  (для АВБбШв).

Суммарное активное сопротивление:

$$R_{\text{каб}} = \frac{r_0 \cdot L}{n \cdot 1000}, \quad (4.2)$$
$$R_{\text{каб}} = \frac{0,292 \cdot 100}{4 \cdot 1000} = 0,0073 \text{ Ом},$$

где  $R_{\text{каб}}$  – суммарное активное сопротивление кабеля, Ом;

$r_0$  – активное сопротивление 1 км кабеля, Ом/км;

$L$  – длина кабеля, м;

$n$  – количество жил кабеля.

Суммарное реактивное сопротивление:

$$X_{\text{каб}} = \frac{x_0 \cdot L}{n \cdot 10000}, \quad (4.3)$$
$$X_{\text{каб}} = \frac{0,08 \cdot 100}{4 \cdot 1000} = 0,002 \text{ Ом},$$

где  $X_{\text{каб}}$  – суммарное реактивное сопротивление кабеля, Ом;

$x_0$  – реактивное сопротивление 1 км кабеля, Ом/км.

#### 4.4 Расчет токов короткого замыкания

##### 4.4.1 Полное сопротивление всех элементов (до точки КЗ)

$$Z_{\Sigma} = Z_k + Z_{\text{каб}}, \quad (4.4)$$
$$Z_{\Sigma} = 0,0042 + 0,0093 = 0,0135 \text{ Ом},$$

где  $Z_{\Sigma}$  – полное сопротивление (импеданс) цепи;

$Z_k$  – сопротивление (импеданс) какого-то конкретного элемента в цепи;

$Z_{\text{каб}}$  – сопротивление другого элемента цепи.

#### 4.4.2 Начальное значение периодической составляющей тока КЗ

$$I_{\Pi} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{3} \cdot |Z_{\Sigma}|}, \quad (4.5)$$

$$I_{\Pi} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0135} = 19,7 \text{ кА},$$

где  $I_{\Pi}$  – начальное значение периодической составляющей тока КЗ, кА;

$U_{\Phi}$  – фазное напряжение, кВ;

$|Z_{\Sigma}|$  – модуль полного сопротивления, Ом.

#### 4.4.3 Ударный ток КЗ

Коэффициент ударного тока  $k_{уд}$  равен 1,8 (типовое значение для сетей 0,4 кВ).

$$i_{уд} = k_{уд} \cdot I_{\Pi}, \quad (4.6)$$

$$i_{уд} = 1,8 \cdot 19,7 = 35,5 \text{ кА},$$

где  $i_{уд}$  – ударный ток КЗ, кА;

$k_{уд}$  – коэффициент ударного тока;

$I_{\Pi}$  – это ток нагрузки.

#### 4.4.4 Ударный ток КЗ (действующее значение)

$$I_{уд} = \frac{i_{уд}}{\sqrt{2}}, \quad (4.7)$$

$$I_{уд} = \frac{35,5}{\sqrt{2}} = 25,1 \text{ кА},$$

где  $I_{уд}$  – действующее значение ударного тока КЗ, кА.

#### 4.4.5 Ток КЗ с учетом сопротивления системы

$$Z_{\text{сист}} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{но}}}, \quad (4.8)$$

$$Z_{\text{сист}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,577 \text{ Ом},$$

где  $Z_{\text{сист}}$  – сопротивление системы, Ом;

$U_{\text{ф}}$  – это линейное напряжение;

$I_{\text{по}}$  – ток КЗ на подстанции, кА.

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{сист}} + Z_{\Sigma}, \quad (4.9)$$

$$Z_{\text{общ}} = 0,577 + 0,0135 = 0,5905 \text{ Ом},$$

где  $Z_{\text{общ}}$  – полное сопротивление с учетом сопротивления системы, Ом;

$Z_{\text{сист}}$  – импеданс системы, общее сопротивление самой электрической системы (сети, установки);

$Z_{\Sigma}$  – полное сопротивление подключенных устройств.

$$I_{k'} = \frac{U_{\text{ф}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{общ}}}, \quad (4.10)$$

$$I_{k'} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,5905} = 9,6 \text{ кА},$$

где  $I_{k'}$  – ток КЗ с учетом сопротивления системы, кА;

$U_{\text{ф}}$  – это линейное напряжение;

$Z_{\text{общ}}$  – общее сопротивление (импеданс) всей цепи, включая сопротивление системы и сопротивление подключенных к ней устройств.

Сведем полученные данные в таблицу 4.

Таблица 4 – Таблица токов

| Параметр                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| Коэффициент ударного тока ( $k_{\text{уд}}$ )                 | 1,8      |
| Ударный ток КЗ ( $i_{\text{уд}}$ ), кА                        | 35,5     |
| Ударный ток КЗ (действующее значение) ( $I_{\text{уд}}$ ), кА | 25,1     |
| Ток КЗ с учетом сопротивления системы ( $I_{k'}$ ), кА        | 9,6      |

Вывод по разделу 4. Результаты расчета токов короткого замыкания свидетельствуют о возможности возникновения высоких токов в электроустановке административно–торгового здания. Максимальное значение тока КЗ, возникающее на шинах ГРЩ без учета сопротивления системы, достигает 19,7 кА, а ударный ток – 35,5 кА. С учетом сопротивления внешней сети ток КЗ снижается до 9,6 кА.

Полученные значения необходимо использовать при выборе электрооборудования (кабелей, автоматических выключателей, предохранителей) с достаточной коммутационной способностью, способного выдерживать воздействие токов КЗ [21].

Настройка устройств релейной защиты должна обеспечивать быстрое отключение поврежденных участков, минимизируя время протекания высоких токов и предотвращая развитие аварийных ситуаций и обеспечить надежную работу электроустановок административно–торгового здания, защиту электрооборудования и персонала от опасных последствий коротких замыканий.

## 5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

Данный раздел посвящен выбору и расчету электрических аппаратов и проводников для электроустановки административно–торгового здания.

Правильный выбор оборудования обеспечивает надежную и безопасную работу электроустановки, учитывая расчетные нагрузки, токи короткого замыкания и требования нормативной документации [1].

### 5.1 Выбор и расчет проводников

#### 5.1.1 Выбор кабеля для подключения трансформатора к ГРЩ

Исходные данные:

- Расчетная мощность: 382,2 кВА.
- Трансформатор: ТМГ 12–400/10–У1.
- Кабель: АВБбШв 4×120 мм<sup>2</sup>.
- Длина кабеля: L = 100 м.
- Напряжение: 10/0,4 кВ.
- Ток КЗ на шинах ГРЩ: I<sub>к</sub> = 19,7 кА.
- Ток КЗ с учетом сопротивления системы: I<sub>к'</sub> = 9,6 кА.

Проверка выбранного сечения кабеля.

Допустимый длительный ток для кабеля АВБбШв 120 мм<sup>2</sup>: I<sub>доп</sub> = 335 А (из таблиц допустимых токовых нагрузок).

Расчетный ток нагрузки:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (5.1)$$
$$I_{\text{расч}} = \frac{382,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,9} = 614 \text{ А},$$

где S – расчетная мощность, кВА;

U – напряжение, кВ;

cosφ – коэффициент мощности.

Ток нагрузки на один кабель (4 кабеля в параллель):

$$I_{\text{каб}} = \frac{I_{\text{расч}}}{4}, \quad (5.2)$$

$$I_{\text{каб}} = \frac{I_{\text{расч}}}{4} = 153,5 \text{ A},$$

где  $I_{\text{каб}}$  – ток, который может проходить через предохранитель;

$I_{\text{расч}}$  – это расчетный ток.

Выбранное сечение кабеля 120 мм<sup>2</sup> обеспечивает прохождение расчетного тока нагрузки (153,5 А) и имеет запас по допустимому длительному току (335 А).

Проверка кабеля на термическую стойкость при КЗ [3].

Условие термической стойкости:

$$B \cdot \sqrt{(t)} \leq K_T, \quad (5.3)$$

где  $B$  – расчетный ток КЗ, кА;

$t$  – время протекания КЗ, с;

$K_T = 143 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$  – коэффициент термической стойкости кабеля, для кабеля АВБбШв 120 мм<sup>2</sup>.

Время отключения КЗ равно 0,5 с (типичное значение для быстродействующей защиты).

$$B \cdot \sqrt{(t)} = 19,7 \cdot \sqrt{(0,5)} = 13,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 143 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный кабель для подключения трансформатора к главному распределительному щиту административного здания обладает достаточной термической стойкостью при КЗ, следовательно, температура их нагрева к моменту отключения КЗ не превышает предельных по условию термической стойкости значений.

### **5.1.2 Выбор подводящих и отводящих кабелей для электрических щитов административного здания**

В данном проекте для прокладки внутренних электрических сетей принят силовой кабель с медными жилами, ПВХ изоляцией, в оболочке из ПВХ пластиката пониженной горючести – ВВГнг–LS.

Кабель ВВГнг–LS имеет следующую конструкцию: токопроводящая жила – медная, однопроволочная или многопроволочная, круглой формы, 1 или 2 класса гибкости по ГОСТ 22483. Изоляция из поливинилхлоридного пластиката (ПВХ) различных цветов. Нулевой рабочий проводник (N) – синего цвета, проводник заземления (PE) – желто–зеленого цвета.

Оболочка из поливинилхлоридного пластиката (ПВХ) пониженной горючести с низким дымо– и газовыделением (нг–LS) [11]. Цвет оболочки, как правило, белый или серый.

Технические характеристики кабеля ВВГнг–LS:

- номинальное напряжение: 0,66 кВ; 1 кВ;
- испытательное напряжение: 3 кВ; 3,5 кВ;
- температурный режим эксплуатации: от –50°С до +50°С;
- допустимая температура нагрева жил: +70°С (в нормальном режиме), +80°С (в аварийном режиме), +160°С (при коротком замыкании);
- срок службы: не менее 30 лет;
- гарантийный срок: не менее 5 лет.

Кабель ВВГнг–LS может прокладываться в сухих и влажных помещениях, на открытом воздухе (с защитой от солнечного излучения), в трубах, каналах, коробах, на лотках, по стенам и конструкциям зданий.

Преимущества кабеля ВВГнг–LS:

- высокая надежность и долговечность;
- повышенная пожарная безопасность;
- низкое дымовыделение и токсичность при горении;
- удобство монтажа [18].

### 5.1.2.1 Расчет сечений проводников для ЩО–1.1

Расчет сечения подводящего кабеля до ЩО–1.1.

Суммарный ток нагрузок ЩО–1.1:

$$I_{\Sigma\text{ЩО-1.1}} = 13,5 + 8,0 + 9,4 + 9,4 + 7,0 = 47,3 \text{ А.}$$

Необходимое сечение кабеля:

$$F_{\text{ЩО-1.1}} = \frac{47,3}{6 \cdot 0,8} = 9,85 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля: 4×10 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 4×10).

Расчет сечений отходящих линий.

Ос1/1:

$$F_{\text{Ос1/1}} = \frac{13,5}{6 \cdot 0,8} = 2,81 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение: 3×4 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 3×4).

Ос1/2:

$$F_{\text{Ос1/2}} = \frac{8,0}{6 \cdot 0,8} = 1,67 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение: 3×2,5 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 3×2,5).

Ос1/3:

$$F_{\text{Ос1/3}} = \frac{9,4}{6 \cdot 0,8} = 1,96 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение:  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг–LS  $3 \times 2,5$ ).

Ос1/4:

$$F_{\text{Ос1/4}} = \frac{9,4}{6 \cdot 0,8} = 1,96 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение:  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг–LS  $3 \times 2,5$ ).

Ос1/5:

$$F_{\text{Ос1/5}} = \frac{7,0}{6 \cdot 0,8} = 1,46 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение:  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг–LS  $3 \times 2,5$ ).

#### **5.1.2.2 Расчет сечений проводников для ЩО–1.2**

Расчет сечения подводящего кабеля до ЩО–1.2.

Суммарный ток нагрузок ЩО–1.2:

$$I_{\Sigma \text{ЩО-1.2}} = 8,2 + 9,4 + 4,7 + 1,7 = 24 \text{ А}.$$

Необходимое сечение кабеля:

$$F_{\text{ЩО-1.2}} = \frac{24}{6 \cdot 0,8} = 5 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля:  $4 \times 6 \text{ мм}^2$  (ВВГнг–LS  $4 \times 6$ ).

Расчет сечений отходящих линий.

Ос2/1:

$$F_{Oc2/1} = \frac{8,2}{6 \cdot 0,8} = 1,71 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение: 3×2,5 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 3×2,5).

Ос2/2:

$$F_{Oc2/2} = \frac{9,4}{6 \cdot 0,8} = 1,96 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение: 3×2,5 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 3×2,5).

Ос2/3:

$$F_{Oc2/3} = \frac{4,7}{6 \cdot 0,8} = 0,98 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение: 3×1,5 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 3×1,5).

Ос2/4:

$$F_{Oc2/4} = \frac{1,7}{6 \cdot 0,8} = 0,35 \text{ мм}^2.$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение: 3×1,5 мм<sup>2</sup> (ВВГнг–LS 3×1,5).

#### **5.1.2.4 Расчет сечений проводников для ШУ–1, ШУ–2, ШУ–3 и ША**

Расчет сечения общего подводящего кабеля.

Суммарный ток нагрузок:

$$I_{\Sigma Ш} = 1,51 + 1,51 + 1,51 + 0,4 = 4,93 \text{ А}.$$

Необходимое сечение кабеля:

$$F_{\text{ш}} = \frac{4,93}{6 \cdot 0,8} = 1,03 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля с учетом резерва:  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $3 \times 2,5$ ).

Выбор сечений отходящих линий. Для всех линий (ШУ-1, ШУ-2, ШУ-3, ША) достаточно минимального сечения  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $3 \times 1,5$ ), так как токи нагрузок невелики и не превышают допустимого для данного сечения.

#### **5.1.2.5 Расчет сечения проводника для ШУНО**

Расчет сечения:

$$F_{\text{ШУНО}} = \frac{5,45}{6 \cdot 0,8} = 1,13 \text{ мм}^2.$$

С учетом возможного увеличения нагрузки выбираем стандартное сечение:  $5 \times 6 \text{ мм}^2$  (АВВГнг-LS  $5 \times 6$ ).

#### **5.1.2.6 Расчет сечений проводников для ЩСТ**

Расчет сечения подводящей линии до ЩСТ.

Суммарный ток нагрузок:

$$I_{\Sigma \text{ЩСТ}} = 0,3 + 0,9 + 3,5 + 2,9 + 1,4 = 9,0 \text{ А}.$$

Необходимое сечение кабеля:

$$F_{\text{ЩСТ}} = \frac{9,0}{6 \cdot 0,8} = 1,875 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля с учетом резерва:  $5 \times 6 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $5 \times 6$ ).

Выбор сечений отходящих линий. Для всех линий (балансировочный стенд, шиномонтажный стенд, подъемник, компрессор, станок) достаточно минимального сечения  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $3 \times 1,5$ ), так как токи нагрузок невелики и не превышают допустимого для данного сечения.

#### **5.1.2.7 Расчет сечения проводника для ЩО-П/1**

Расчет сечения:

$$F_{\text{ЩО-П/1}} = \frac{51,59}{6 \cdot 0,8} = 10,75 \text{ мм}^2.$$

Выбираем стандартное сечение:  $5 \times 10 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $5 \times 10$ ).

#### **5.1.2.8 Расчет сечения подводящей линии до ЩСВ-1**

Суммарный ток нагрузок:

$$I_{\Sigma \text{ЩСВ-1}} = 0,4 + 1,1 + 2,11 = 3,61 \text{ А.}$$

Необходимое сечение кабеля:

$$F_{\text{ЩСВ-1}} = \frac{3,61}{6 \cdot 0,8} = 0,75 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля с учетом резерва:  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $3 \times 1,5$ ).

Выбор сечений отходящих линий. Для всех линий (тепловентиляторы, вентилятор) достаточно минимального сечения  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг-LS  $3 \times 1,5$ ), так как токи нагрузок невелики и не превышают допустимого для данного сечения.

#### **5.1.2.9 Расчет сечений проводников для ЩСВ-П**

Расчет сечения подводящей линии до ЩСВ-П.

Необходимое сечение кабеля:

$$F_{\text{ЩСВ-1}} = \frac{8,66}{6 \cdot 0,8} = 1,8 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля с учетом резерва:  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг–LS  $3 \times 2,5$ ).

Выбор сечения отходящей линии. Для линии тепловентилятора достаточно сечения  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  (ВВГнг–LS  $3 \times 2,5$ ), так как ток нагрузки не превышает допустимого для данного сечения.

## **5.2 Выбор и расчет электрических аппаратов**

### **5.2.1 Выбор автоматического выключателя на вводе ГРЩ**

Номинальный ток:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{расч}} = 614 \text{ А.}$$

Отключающая способность:

$$I_{\text{cu}} \geq I_k = 19,7 \text{ кА.}$$

Выбираем автоматический выключатель с  $I_{\text{ном}} = 800 \text{ А}$  и  $I_{\text{cu}} = 25 \text{ кА}$  (например, АВВ Tmax T5 800/25) [17].

### **5.2.2 Выбор автоматических выключателей для отходящих линий**

Выбор автоматических выключателей для отходящих линий производится аналогично, исходя из расчетных токов нагрузки и токов КЗ для каждой линии [8-9].

Необходимо учитывать тип нагрузки, требования селективности и другие факторы [4-5].

Исходя из предоставленных расчетов сечений проводников, подберем соответствующие автоматические выключатели для отводящих линий административного здания:

#### **5.2.2.1 Подбор автоматического выключателя для ЩО–1.1**

Вводной автомат для ЩО–1.1: кабель:  $5 \times 6$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 40 А, 3 полюса (3Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 40А, 3Р, С) [13].

Отходящие линии:

- Ос1/1: кабель:  $3 \times 4$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 16 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 16А, 1Р, С).
- Ос1/2, Ос1/3, Ос1/4, Ос1/5: кабель:  $3 \times 2,5$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 10 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 10А, 1Р, С).

#### **5.2.2.2 Подбор автоматического выключателя для ЩО–1.2**

Вводной автомат для ЩО–1.2: кабель:  $5 \times 2,5$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 25 А, 3 полюса (3Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 25А, 3Р, С) [13].

Отходящие линии:

- Ос2/1, Ос2/3, Ос2/4: кабель:  $3 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 6 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 6А, 1Р, С).
- Ос2/2: кабель:  $3 \times 2,5$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 10 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 10А, 1Р, С).

#### **5.2.2.3 Подбор автоматического выключателя для ШУ–1, ШУ–2, ШУ–3, ША**

Вводной автомат: кабель:  $3 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>. Автоматический выключатель: 6 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric BA47–29 6А, 1Р, С) [13].

На отходящие линии не требуются, так как для каждой нагрузки используется отдельный автомат, что позволяет обеспечить необходимую защиту.

#### **5.2.2.4 Подбор автоматического выключателя для ШУНО**

Автоматический выключатель: кабель:  $5 \times 6 \text{ мм}^2$ .

Автоматический выключатель: 25 А, 3 полюса (3Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 25А, 3Р, С) [13].

#### **5.2.2.5 Подбор автоматического выключателя для ЩСТ**

Вводной автомат: кабель:  $5 \times 6 \text{ мм}^2$ . Автоматический выключатель: 40 А, 3 полюса (3Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 40А, 3Р, С) [13].

Отходящие линии: кабель:  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$ . Автоматический выключатель: 6 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 6А, 1Р, С) [13].

#### **5.2.2.6 Подбор автоматического выключателя для ЩО–П/1**

Автоматический выключатель: кабель:  $5 \times 6 \text{ мм}^2$ . Автоматический выключатель: 63 А, 3 полюса (3Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 63А, 3Р, С) [13].

#### **5.2.2.7 Подбор автоматического выключателя для ЩСВ–1**

Вводной автомат: кабель:  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$ . Автоматический выключатель: 6 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 6А, 1Р, С) [13].

Отходящие линии: кабель:  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$ . Автоматический выключатель: 6 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 6А, 1Р, С) [13].

#### **5.2.2.8 Подбор автоматического выключателя для ЩСВ–П**

Вводной автомат: кабель:  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$ . Автоматический выключатель: 16 А, 1 полюс (1Р), характеристика С (например, Schneider Electric ВА47–29 16А, 1Р, С) [13].

Вывод по разделу 5. В данном разделе произведен выбор и расчет электрических аппаратов и проводников для электроустановки административно–торгового здания.

Правильный выбор оборудования и проводников согласно выполненным расчетам, а также использование качественных материалов и оборудования обеспечат требуемый уровень надежности системы электроснабжения и удобство эксплуатации системы электроснабжения административного здания в целом.

Выбранный кабель обладает достаточной пропускной способностью и термической стойкостью и обеспечат передачу и распределение энергии, а также безопасную работу электроустановки, учитывая расчетные нагрузки, токи короткого замыкания и требования нормативной документации.

Выбранные автоматические выключатели обеспечивают защиту от перегрузок и коротких замыканий [16] и защиту электрической сети в режиме длительного повышенного потребления тока.

Правильный выбор оборудования гарантирует надежную и безопасную работу электроустановок административного здания.

## **6 Выбор оборудования и его обоснование**

### **6.1. Вакуумный выключатель нагрузки для ТП**

#### **6.1.1 Назначение и принцип действия**

Вакуумный выключатель нагрузки (ВВН) – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения, отключения и защиты цепей высокого напряжения, в данном случае, цепи силового трансформатора. Основным элементом ВВН является вакуумная камера, в которой происходит гашение электрической дуги при отключении тока.

Принцип действия ВВН основан на использовании вакуума как изолирующей среды. При размыкании контактов в вакуумной камере образуется электрическая дуга, которая быстро гасится из-за отсутствия кислорода и высокой скорости рассеивания заряженных частиц.

Преимущества ВВН:

- Высокая отключающая способность.
- Длительный срок службы.
- Небольшие габариты и вес.
- Низкие эксплуатационные расходы.
- Высокая надежность и безопасность.

#### **6.1.2 Выбор и обоснование**

Выбранный аппарат: Вакуумный выключатель нагрузки ВВ/TEL–10–20/1000 У2.

Обоснование выбора:

- Номинальное напряжение: 10 кВ (соответствует напряжению сети).
- Номинальный ток: 1000 А (превышает номинальный ток трансформатора 693 А).
- Отключающая способность: 20 кА (превышает ток КЗ на шинах 0,4 кВ 9.6 кА).

Термическая стойкость ( $K_T = 200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ ):

$$B \cdot \sqrt{(t)} = 9,6 \cdot \sqrt{(0,5 \text{ с})} = 6,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Условие выполняется, выключатель способен выдержать термическое воздействие тока КЗ в течение заданного времени.

Электродинамическая стойкость:

Пиковый ток КЗ:

$$I_{peak} = 2,5 \cdot I_{k'},$$

$$I_{peak} = 2,5 \cdot 9,6 = 24 \text{ кА}$$

Электродинамическая стойкость:  $I_{дин} = 50 \text{ кА}$  (из документации производителя).

$I_{peak} < I_{дин}$  (условие выполняется, выключатель способен выдержать электродинамические силы, возникающие при КЗ).

### **6.1.3 Правила устройства и подключения**

Монтаж ВВН должен производиться в соответствии с инструкцией по эксплуатации и требованиями [19].

ВВН устанавливается на специальную раму или в шкаф КРУ (комплектного распределительного устройства).

Подключение кабелей к ВВН осуществляется с помощью кабельных наконечников и зажимов, обеспечивающих надежный контакт.

ВВН должен быть оборудован системой блокировок, предотвращающей ошибочные действия персонала.

## **6.2 Секционный разъединитель**

### **6.2.1 Назначение и принцип действия**

Секционный разъединитель — это коммутационный аппарат, предназначенный для создания видимого разрыва в электрической цепи при проведении ремонтных работ или обслуживании оборудования. Он не

предназначен для отключения тока нагрузки или токов короткого замыкания. Разъединитель обеспечивает безопасность персонала за счет гарантированного отсутствия тока на отключенном участке сети.

### **6.2.2 Выбор и обоснование**

Выбранный аппарат: разъединитель РВО-10/1000.

Обоснование выбора:

- Номинальное напряжение: 10 кВ (соответствует напряжению сети).
- Номинальный ток: 1000 А (ближайшее большее стандартное значение, превышает номинальный ток трансформатора 693 А) [14].

### **6.2.3 Правила устройства и подключения**

Разъединители устанавливаются на опорных изоляторах и могут иметь ручное или электрическое управление.

При установке необходимо обеспечить достаточные габариты для предотвращения перекрытия изоляции.

Подключение к сети осуществляется с помощью гибких шин или кабелей.

Вывод по разделу 6.

Выбранное оборудование обеспечивает надежную и безопасную работу системы электроснабжения административного здания.

Разъединитель РВО-10/1000 подходит для создания видимого разрыва в цепи трансформатора и обеспечения безопасности персонала при проведении работ на отключенном участке [20].

Вакуумный выключатель нагрузки ВВ/TEL–10–20/1000 У2 соответствует всем необходимым требованиям и обеспечит надежную и безопасную работу трансформатора.

Важно отметить, что выбранное оборудование имеет достаточный запас по мощности и отключающей способности, что гарантирует бесперебойную работу системы электроснабжения административного здания в нормальных условиях и при возможных аварийных ситуациях и обеспечит необходимый уровень защиты.

## **7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики**

### **7.1 Назначение устройств релейной защиты и автоматики**

Релейная защита и автоматика являются неотъемлемой частью современных систем электроснабжения. Они обеспечивают безопасность эксплуатации электрических установок и оборудования [6], предотвращая аварии и минимизируя потери в случае их возникновения.

Основные функции устройств релейной защиты:

- защита от токов короткого замыкания. Основная задача релейной защиты – быстро и надежно отключить поврежденный участок сети при возникновении КЗ. Это предотвращает пожар, повреждение оборудования и поражение электрическим током;
- защита от перегрузок: релейная защита отключает участок сети при длительной перегрузке, что предотвращает перегрев проводов и кабелей;
- защита от недопустимых напряжений: релейная защита отключает участок сети при понижении или повышении напряжения ниже или выше допустимых пределов;
- защита от замыкания на землю: релейная защита отключает участок сети при замыкании фазного провода на землю.

Основные функции устройств автоматики:

- автоматическое включение резерва (АВР). АВР автоматически включает резервный источник питания при отключении основного источника питания. Это позволяет обеспечить бесперебойную работу критически важных участков сети;
- автоматическое регулирование напряжения. Регуляторы напряжения поддерживают стабильное напряжение в сети, что повышает надежность и качество электроснабжения;

- автоматическое управление освещением. Системы управления освещением автоматически включают и выключают освещение в зависимости от времени суток, уровня освещенности, наличия людей в помещении;
- автоматический контроль параметров. Системы контроля параметров отслеживают ток, напряжение, температуру и другие важные параметры работы электрической сети и сигнализируют о неисправностях.

## 7.2 Выбор устройств релейной защиты для силового трансформатора

Для защиты силового трансформатора ТМГ 12–400/10–У1 был выбран интеллектуальное устройство релейной защиты «Сириус-Т» фирмы «РАДИУС Автоматика» (рисунок 3). Данное устройство оптимально по цене, функционалу и уровню надежности.



Рисунок 3 – Устройство релейной защиты «Сириус-Т»

## 7.3 Расчет параметров защиты

### 7.3.1 Расчет токовой отсечки

Ток срабатывания токовой отсечки ( $I_{сзТО}$ ) рассчитывается по формуле:

$$I_{сзТО} = I_{кз} \cdot k_n, \quad (7.1)$$

где  $I_{сзТО}$  – ток срабатывания токовой отсечки, А;

$I_{кз}$  – ток короткого замыкания в конце линии, А;

$k_n$  – коэффициент надежности (для Сириус–Т равен 1,1).

В нашем случае  $I_{кз} = 9,6$  кА (ток короткого замыкания с учетом сопротивления системы):

$$I_{сзТО} = 9,6 \cdot 1,1 = 10,56 \text{ кА.}$$

Коэффициент чувствительности токовой отсечки находится по формуле:

$$K_q = \frac{0,87 \cdot I_{кз}}{I_{сзМТЗ}} \geq 1,2.$$

Коэффициент чувствительности токовой отсечки при коротком замыкании на шинах 10кВ силового трансформатора ТМГ 12–400/10–У1 составит:

$$K_q = \frac{0,87 \cdot 9,6}{10,56} = 0,79.$$

что менее, чем 1,2, таким образом, токовая отсечка не устанавливается.

### 7.3.2 Расчет максимальной токовой отсечки (МТЗ)

Расчет максимальной токовой отсечки (МТЗ) выполняется с учетом следующих условий:

$$I_{сзМТЗ} \geq I_{раб}, \quad (7.2)$$

где  $I_{сзМТЗ}$  – ток срабатывания МТЗ, А;

$I_{раб}$  – максимальный рабочий ток линии, А.

Рабочий максимальный ток  $I_{\text{раб}}$  является током силового трансформатора на стороне 10 кВ:

$$I_{\text{раб}} = I_{\text{трВН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} \approx 23,3 \text{ А.}$$

Ток срабатывания МТЗ рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{срМТЗ}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot I_{\text{раб}}}{k_{\text{воз}}}, \quad (7.3)$$

где  $k_{\text{воз}}$  – коэффициент возврата (для Сириус–Т равен 0,94).

В нашем случае:

$$I_{\text{срМТЗ}} = \frac{0,87 \cdot 23,3}{0,94} = 21,56 \text{ А.}$$

Проверка чувствительности МТЗ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{0,87 \cdot I_{\text{кЗ}}}{I_{\text{срМТЗ}}} \geq 2, \quad (7.4)$$
$$K_{\text{ч}} = \frac{0,87 \cdot 9600}{21,56} = 387,38 \geq 2.$$

В нашем случае чувствительность МТЗ удовлетворяет нормативным требованиям.

### 7.3.3 Схема расположения защит

Терминалы защит устройства «Сириус–Т» располагаются в РУ–10 кВ и подключаются непосредственно к измерительным трансформаторам тока, установленным на вводе силового трансформатора ТМГ 12–400/10–У1, что позволяет обеспечить надежную защиту данного силового трансформатора и

возможность сопряжения при необходимости с другими устройствами защиты.

#### **7.4 Выбор и расчет устройств автоматики**

Для автоматического включения резервного источника питания в случае отключения основного используем АВР Eaton 9РХ. АВР устанавливается на вводе в здание на стороне 0,4 кВ, перед главным распределительным щитом (ГРЩ).

Настройка АВР осуществляется в соответствии с характеристиками резервного источника питания и требованиями по времени переключения на резерв.

Необходимо установить время задержки включения резерва (обычно от 1 до 5 секунд), чтобы предотвратить ложные включения АВР при кратковременных пропадающих напряжениях.

Также необходимо установить время задержки отключения резерва (обычно от 5 до 15 секунд), чтобы обеспечить плавное переключение на основное питание после восстановления напряжения.

Вывод по разделу 7. Выбрана система релейной защиты «Сириус–Т» для защиты силового трансформатора ТМГ 12–400/10–У1.

Проведены расчеты и проверки параметров защиты для обеспечения надежной и безопасной работы системы электроснабжения. Определены параметры настройки защит и автоматики. Разработана схема релейной защиты и автоматики.

## **Заключение**

В данной работе была разработана система электроснабжения административно-торгового здания, расположенного в районе МКАД в г. Минске. Проект разработан с учетом требований нормативно-технической документации, включая Правила устройства электроустановок (ПУЭ), ГОСТы, СНиПы и СП.

Проект предусматривает строительство многофункционального здания, включающего в себя торговые помещения, административные офисы, а также сервисные помещения для обслуживания автомобилей. Важно отметить, что здание относится ко II категории надежности электроснабжения, что подразумевает допустимость перерывов в электроснабжении для большинства потребителей, но при этом требует бесперебойного питания для систем, обеспечивающих пожарную безопасность (условная I категория).

В процессе работы над проектом были выполнены основные этапы, включающие анализ исходных данных, расчет электрических нагрузок, выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, расчет токов короткого замыкания, выбор и расчет электрических аппаратов и проводников, а также выбор устройств релейной защиты и автоматики.

На начальном этапе был проведен анализ исходных данных, что позволило определить категории надежности электроснабжения здания, выбрать место подключения к внешней сети и изучить архитектурные особенности здания. Это помогло сформировать полное понимание требований к системе электроснабжения и выбрать оптимальные решения, учитывающие все особенности объекта.

Следующим этапом была проведена детальная проработка расчета электрических нагрузок для всех групп потребителей, включая торговые помещения, офисы, сервисные помещения, системы отопления, вентиляции и кондиционирования, освещение, розетки и другое оборудование. Были учтены коэффициенты спроса, использования и мощности, что позволило определить

необходимую мощность трансформаторов и выбрать соответствующее электрооборудование с учетом ожидаемых нагрузок.

Для обеспечения безопасности работы системы электроснабжения в случае возникновения короткого замыкания был проведен расчет токов короткого замыкания. В результате были определены максимальные значения токов КЗ на шинах 0,4 кВ. Эти данные позволили выбрать электрические аппараты с достаточной коммутационной способностью, способные выдерживать воздействие токов КЗ и предотвратить повреждение оборудования и провода в случае аварии.

Следующим этапом проектирования был выбор и расчет электрических аппаратов и проводников. При выборе сечений кабелей, автоматических выключателей, вакуумного выключателя нагрузки и секционного разъединителя были учтены расчетные нагрузки, токи короткого замыкания и требования нормативно-технической документации. Это позволило создать систему электроснабжения, которая гарантирует безопасную и надежную работу всего оборудования в здании.

Последний этап проектирования включал в себя выбор устройств релейной защиты и автоматики. С учетом требований по обеспечению безопасности, надежности и бесперебойности работы системы электроснабжения были выбраны интеллектуальные устройства релейной защиты «Сириус-Т» для трансформатора, а также АВР Eaton 9РХ для обеспечения бесперебойного питания критически важных потребителей.

В результате работы над проектом были достигнуты следующие цели.

Обеспечена надежность электроснабжения. Применены две независимые линии ввода, резервирование питания, АВР, что обеспечивает бесперебойную работу систем, обеспечивающих пожарную безопасность.

Обеспечена безопасность. Правильно выбраны электрические аппараты с достаточной коммутационной способностью, произведен расчет токов КЗ, установлена релейная защита.

Обеспечена экономичность. Проведен расчет электрических нагрузок, позволяющий минимизировать затраты на электрооборудование и потребляемую электроэнергию.

Обеспечена гибкость и простота эксплуатации. Применены групповые щиты, что позволяет легко обслуживать и модернизировать систему.

В качестве дальнейшего развития проекта предлагается внедрение систем учета и автоматизации управления электропотреблением, а также использование современных цифровых решений в релейной защите и автоматике. Это позволит повысить эффективность электроснабжения, снизить затраты и оптимизировать работу системы.

Разработанный проект электроснабжения административно-торгового здания обеспечивает надежное, безопасное, экономически эффективное и простое в эксплуатации электроснабжение. Проект является примером рационального использования современных технологий и материалов в сфере электроснабжения, что способствует повышению уровня безопасности и надежности электроустановок.

## **Список используемых источников**

1. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. М.: Стандартиформ, 2011. 24 с.
2. ГОСТ 22483-2021. Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров. М.: Стандартиформ, 2021. 23 с.
3. ГОСТ 31947-2012. Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2014. 19 с.
4. ГОСТ ИЕС 60898-1-2020. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока. М.: Стандартиформ, 2020. 122 с.
5. ГОСТ ИЕС 60947-2-2021. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 190 с.
6. ГОСТ Р 50030.1-2007. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2008. 142 с.
7. ГОСТ Р 50571.10-96. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники. М.: Стандартиформ, 2012. 12 с.
8. ГОСТ Р 51326.1-99. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2010. 90 с.
9. ГОСТ Р 51327-2010. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2011. 118 с.

10. ГОСТ Р 51778-2001. Щитки распределительные для производственных и общественных зданий. Общие технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 32с.
11. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2008. 49 с.
12. ГОСТ Р 54827-2011. Трансформаторы сухие. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2012. 45 с.
13. Каталог Schneider Electric. [Электронный ресурс] : URL: [https://pulsal.ru/download/Schneider%20Electric/Catalog\\_Easy9.pdf](https://pulsal.ru/download/Schneider%20Electric/Catalog_Easy9.pdf) (дата обращения: 07.04.2024).
14. Каталог электротехнической продукции IEK GROUP. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.iek.ru/upload/iblock/561/master\\_katalog-iek-2022.pdf](https://www.iek.ru/upload/iblock/561/master_katalog-iek-2022.pdf) (дата обращения: 18.03.2024).
15. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 366 с.
16. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебник для вузов. 2-е изд. М. Энергоатомиздат, 1986. 640 с.
17. Низковольтные автоматические выключатели на номинальный ток до 250 А. Технический каталог. [Электронный ресурс] : URL: [https://etc-bortek.ru/assets/files/catalogs/abb/abb-avtomaticheskie-vyiklyuchateli-tmax-xt-\(2017\).pdf](https://etc-bortek.ru/assets/files/catalogs/abb/abb-avtomaticheskie-vyiklyuchateli-tmax-xt-(2017).pdf) (дата обращения: 26.02.2024).
18. ООО «Камский кабель». Каталог продукции. [Электронный ресурс] : URL: [https://www.kamkabel.ru/netcat\\_files/userfiles/Nomenklaturnyy\\_katalog\\_2024\\_1.pdf](https://www.kamkabel.ru/netcat_files/userfiles/Nomenklaturnyy_katalog_2024_1.pdf) (дата обращения: 15.04.2024).
19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

20. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций. 3-е изд., перераб. и доп. Учебник для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 648 с.

21. Федоров А. А., Каменева В. В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. 4-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1984. 472 с.