

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 магазина «Строительные и отделочные материалы»

Обучающийся

Д. В. Шевцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент М. Н. Третьякова

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

Консультант

к.п.н., доцент, Т. С. Якушева

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого осуществлены необходимые обоснованные мероприятия по проектированию системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

На основе полученных результатов расчёта нагрузок потребителей, а также расчёта токов КЗ, в работе выбрана и обоснована схема электроснабжения объекта проектирования, осуществлён выбор проводников электрических сетей, системы освещения, устройств учёта и контроля электроэнергии, а также проведён выбор основного оборудования и его проверка в системе электроснабжения объекта проектирования.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия для безопасного выполнения работ с последующим их внедрением на объекте проектирования.

Обоснование всех указанных мероприятий по проектированию системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» в работе подтверждено соответствующими техническими расчётами и проверками, в частности, выбором современных типов приведённого оборудования и проводников электрических сетей.

## **Abstract**

This work is devoted to the design of the power supply system of the store.

The thesis consists of an explanatory note on 73 pages, an introduction on 2 pages, including 3 figures, 9 tables, a list of references from 21 sources, including 5 foreign sources and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to develop a project for the power supply system of the store. The diploma project can be divided into several logically related parts.

In the first chapter of the work, an analysis of the initial data was carried out. In the second chapter, a project of the facility's power supply system was developed. In the third chapter, measures for labor protection at the facility are developed.

The results of the study showed that the introduction of modern solutions in the power supply system of the facility had a positive impact on the reliability and energy efficiency of the store and is economically feasible.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Общие сведения о магазине.....	7
1.2 Характеристика потребителей и помещений магазина .....	11
2 Разработка проекта системы электроснабжения объекта.....	15
2.1 Выбор схемы электроснабжения объекта .....	15
2.2 Расчёт электрического освещения магазина.....	20
2.3 Расчёт электрических нагрузок .....	28
2.4 Выбор силовых трансформаторов на питающей подстанции.....	33
2.5 Компенсация реактивной мощности на питающей ТП .....	35
2.6 Выбор и проверка проводников .....	39
2.7 Расчёт токов короткого замыкания.....	46
2.8 Выбор основного оборудования и его проверка.....	56
2.9 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии.....	62
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда .....	66
3.1 Мероприятия по охране труда.....	66
3.2 Мероприятия по охране окружающей среды.....	68
Заключение .....	70
Список используемых источников.....	72

## Введение

В настоящей работе детально рассматривается проектирование системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», в основе производственной деятельности которого лежат непосредственные услуги для населения, организаций и предприятия по производству и сбыту строительных, монтажных, отделочных и прочих материалов и изделий, применяемых в различных отраслях отечественной промышленности и в бытовой сфере.

Известно, что системы электроснабжения современных строительных магазинов, один из которых рассматривается в работе, являются важным звеном экономики регионов и страны в целом.

Ввод в эксплуатацию данного магазина позволит реализовать нужную строительную-отделочную продукцию по низким ценам с учётом организации доставки потребителю.

Целью работы является обеспечение энергоснабжения с магазина «Строительные и отделочные материалы» за счет разработки качественного проекта системы электроснабжения данного объекта.

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Предметом исследования являются электрические сети питающей и распределительной сети, система освещения и силовая сеть, электрические аппараты и оборудование всех рассматриваемых в работе номинальных классов напряжения объекта исследования.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки качественных проектов систем электроснабжения объектов и систем промышленности, находящихся на стадии проектирования, а также их необходимой реконструкции и модернизации [1], [3], [7], [21].

Для качественной реализации цели работы осуществляется решение основных поставленных задач:

– анализ исходных данных, необходимых для решения основных задач, а также приведение общих сведений по объекту проектирования. Также приводится характеристика потребителей и помещений магазина «Строительные и отделочные материалы». На основе полученных данных анализа, проводится обоснование необходимости внедрения соответствующих решений в схему электрических соединений объекта проектирования;

– разработка качественного проекта системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» с принятием целесообразных решений по выбору оборудования и электрических сетей объекта исследования. Кроме того, для решения поставленных задач в работе необходимо выбрать и обосновать современный тип системы контроля и учёта электроэнергии для непосредственного применения на объекте исследования;

– разработка мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности.

Выбор всех оптимальных технических решений по разработке проекта электроснабжения объекта проводится с детальным обоснованием принятых решений.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Общие сведения о магазине**

В работе объектом исследования является система электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

В связи с развитием высоких современных технологий в стране, в свете научно-технического прогресса, введения в эксплуатацию новых объектов строительства в условиях острого дефицита качественных строительных материалов, в современном обществе возникла острая необходимость в специализированных торговых предприятиях и организациях, которые специализируются на производстве и реализации строительно-отделочных материалов различного типа, а также обслуживании, монтаже и ремонте строительных объектов, обеспечивающих технологический процесс сдачи объектов строительства в эксплуатацию (как новых, так и прошедших ремонт и модернизацию).

Полученная продукция объекта проектирования, включающая совокупность строительно-отделочных материалов различного типа, применяемых в строительстве, а также в прочих сферах и отраслях, реализуется в рассматриваемом в работе магазине «Строительные и отделочные материалы».

Кроме того, на территории организации, к которой относится проектируемый в работе магазин «Строительные и отделочные материалы», налажено собственное закрытое производство отдельных типов строительных материалов.

К таким типам и видам материалов собственного закрытого производства, которые реализуются в магазине «Строительные и отделочные материалы», относятся [18]:

– клеевые смеси;

- строительно-монтажные смеси;
- «стартовые» и «финишные» строительные смеси для отделки помещений;
- универсальные смеси;
- специальные смеси.

Все эти продукты далее разделяются на множество ветвей и направлений по своему технологическому назначению, а также природе и способу их получения.

Собственное закрытое производство сухих строительных смесей в современном мире в условиях жёсткой конкуренции, требует применения современных технологий производства.

Данный аспект обуславливает дополнительную практическую ценность работы, так как проектирование и ввод в эксплуатацию данного производства с учётом инноваций в технологии производства и использованием современного энергосберегающего оборудования, способно частично решить вопросы с производством сухих строительных смесей различного типа в регионе и стране в целом.

Технология собственного производства сухих строительных смесей, соответствует основным современным требованиям и нормам [18] и включает в себя следующие основные этапы, а именно [18]:

- приём продуктов для технологического процесса – обеспечивается складскими помещениями, из которых первичный материал поставляют в производственный комплекс;
- переработка (подготовка) первичного материала – нужна для приведения первичного материала, полученного со склада, в нужную форму и консистенцию. Данный этап включает в себя измельчение (дробление), очистку (крупную и мелкую), обработку (физическую и химическую)



первичного материала для подготовки производства сухих строительных смесей;

– дозирование компонентов – осуществляется после обработки первичного материала на специальных весовых и дозирующих комплексах. Также широко распространено взвешивание «тензометрическим методом» [5];

– смешивание компонентов – производится в специальных смесителях. При этом процесс строго контролируется. На заключительном этапе при производстве некоторых технологических строительных смесей (в частности, клеевых смесей), требуется внесение специальных добавок (как правило, автоматически через дозатор);

– фасовка и упаковка – конечный полученный продукт требуется расфасовать в специальную тару (наиболее распространена фасовка в герметичные мешки из различного материала). После этого данные мешки сразу же упаковываются во избежание рассыпания легкосыпучих сухих строительных смесей. Упаковка должна быть полностью герметичной, без нарушений её целостности.

После процесса упаковки, как правило, проводится дефектация продукции с проверкой её консистенции, отсутствия повреждений, качества упаковки, герметичности, маркировки и т.д. Полученный продукт, который не прошёл процесс дефектации, отбраковывается.

После приведённого технологического процесса, полученные сухие строительные смеси направляются на складские помещения, где хранятся при строго отведённых условиях (особое значение при этом имеет допустимое значение влажности). Этот процесс должен контролироваться с помощью специальных датчиков влажности и быть полностью автоматизирован.

Реализация готовой продукции собственного производства (сухих строительных смесей) осуществляется непосредственно со складских комплексов, а также с помощью рассматриваемого в работе магазина

«Строительные и отделочные материалы» оптовым и розничным покупателям согласно установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров организации.

Помимо продукции собственного производства (сухих строительных смесей), магазин «Строительные и отделочные материалы» также реализует следующие виды строительной продукции:

- общестроительные и кровельные материалы (кирпич различного типа, камень строительный различного типа, газобетонные и пенобетонные блоки, шифер, черепица, битум, рубероид, кровельные оцинкованные железные листы и т.д.);

- металлопрокат (сетки, уголки, трубы, кругляк, полосовые изделия, листовые изделия из металла и т.д.);

- пиломатериалы (рейки, балки, брус, деревянные щиты, деревянные плиты, плинтус и т.д.);

- строительные смеси и карьерные материалы (привозные): песчаная смесь, цемент различных марок, гипс, керамзит, песок речной, глинозём, щебень различных фракций и т.д.;

- материалы для теплоизоляции, гидроизоляции и звукоизоляции (полипропилен, пенопласт, минеральная вата, стекловата, поролон, плиты утепления и изоляции и т.д.);

- отделочные материалы (плитка керамическая, двери, окна, пороги, подоконники, натяжные и подвесные потолки, заливные полы, обои рулонные и жидкие и т.д.);

- прочие материалы (электрические, сантехнические, вентиляционные, обогревательные и прочие).

Весь ассортимент продукции магазина «Строительные и отделочные материалы» полностью соответствует требуемому уровню и покупательскому спросу.

## 1.2 Характеристика потребителей и помещений магазина

Проектируемый в работе магазин «Строительные и отделочные материалы» территориально располагается в общем двухэтажном сооружении. Магазин построен из железобетонных монтажных блоков, поэтому он является пожаробезопасным.

С точки зрения систематизации помещений магазина «Строительные и отделочные материалы», в нём расположены следующие основные типы помещений, основные характеристики которых представлены в работе в таблице 1:

- торговый зал – самое большое помещение магазина площадью 240 м<sup>2</sup>, в котором, собственно, происходит процесс осмотра, выбора и покупки товара покупателями;

- производственно-складские помещения – выполняют одновременно две важные функции: во-первых, в данных помещениях осуществляется технологический процесс получения строительных смесей (описан в работе ранее), а во-вторых, эти помещения служат для хранения материалов и продукции, выполняя функции складов. Такое совмещение и многофункциональность помещений приветствуется в современной мировой торговле;

- залы и офисные помещения – предусматривают зал приёма посетителей (для подписания важных соглашений), офисное помещение для работников, а также кабинет директора;

- пост охраны – предусматривает круглосуточную охрану помещения с использованием видеонаблюдения. Также на посту охраны установлена пожарная сигнализация (её вводной шкаф);

– прочие помещения – включают вестибюль, коридорные помещения, санузлы, душевую и раздевалку для работающего в данном магазине персонала.

Перечень помещений магазина «Строительные и отделочные материалы» представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень помещений магазина «Строительные и отделочные материалы»

Номер помещения по плану	Наименование помещения	Площадь помещения, м <sup>2</sup>
1 этаж		
1	Торговый зал	240
2	Пост охраны	12
3	Вестибюль	24
4	Зал приёма посетителей	27
5	Санузел	5
6	Производственно-складское помещение-1	24
7	Производственно-складское помещение-2	24
8	Производственно-складское помещение-3	16
9	Производственно-складское помещение-4	14
10	Производственно-складское помещение-5	18
11	Производственно-складское помещение-6	10
12	Производственно-складское помещение-7	9
13	Зона выдачи товара	12
14	Зона кассовых аппаратов	9
2 этаж		
15	Раздевалка	16
16	Душевая	12
17	Коридор	18
18	Санузел	5
19	Директор	16
20	Офис	16

План расположения помещений магазина «Строительные и отделочные материалы» в работе представлен на графическом листе 1.

В помещениях магазина располагается основное технологическое оборудование, которое по назначению можно разделить на следующие основные типы, характеристика которых приведена в таблице 2:

– основное технологическое оборудование (миксер производственный, смеситель производственный, тельфер электрический, сварочная установка, бетономешалка, дозатор, упаковочная машина и т.д.);

– технологическое оборудование собственных нужд (противопожарная сигнализация, система наблюдения, компьютерная сеть, тепловые завесы, нагреватели, вентилятор, кондиционеры, кассовое оборудование и т.д.);

– осветительное оборудование и сети (сеть освещения магазина).

Таблица 2 – Характеристика потребителей электроэнергии магазина

Наименование электроприемника	Руст., кВт	Кол-во, шт.	Р <sub>уΣ</sub> , кВт
Противопожарная сигнализация	1	1	1
Система наблюдения	0,5	1	0,5
Компьютерная сеть	0,5	1	0,5
Тепловые завесы	4	3	12
Нагреватели	30	2	60
Вентилятор	7,5	1	7,5
Кондиционеры	4,72	2	9,44
Испытательный стенд	11,5	1	11,5
Розетки	6,5	1	6,5
Бойлер	3	1	3
Полотенцесушитель	2	1	2
Кассовое оборудование	2	6	12
Миксер производственный	1,5	2	3
Смеситель производственный	10,75	1	10,75
Тельфер электрический	12,5	2	25
Сварочная установка	4,5	1	4,5
Бетономешалка	12,5	1	12,5
Дозатор	2,53	1	2,53
Розетки	2	2	4
Розетки	2	5	10
Упаковочная машина	2	7	14
Рабочее освещение	2,92	1	2,92
Аварийное освещение	0,35	1	0,35
Всего по магазину	-	-	215,5

Расположение приведённых в таблице 2 потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы» на территории объекта проектирования, представлено в работе на графическом листе 1.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён анализ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», с детальным рассмотрением основных технических, экономических и организационных характеристик объекта проектирования.

Рассмотрены и систематизированы по виду производственной деятельности все помещения данного магазина «Строительные и отделочные материалы».

Детально рассмотрены и систематизированы по назначению все потребители помещений системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом их расположения на территории данного объекта, а также установленной проектной мощности.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, в разделе обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта проектирования.

Поставленные задачи решаются в работе далее.

## **2 Разработка проекта системы электроснабжения объекта**

### **2.1 Выбор схемы электроснабжения объекта**

Выбор схемы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» основывается на положениях и требованиях, приведённых в [4], [10].

При выборе схемы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» следует учитывать категорию надёжности как потребителей, так и всего объекта проектирования в целом, а также расположение источника питания и потребителей на территории объекта, мощность потребителей и объекта проектирования в целом [4].

Рассматриваемый в работе многопрофильный магазин «Строительные и отделочные материалы» по надёжности электроснабжения, согласно технологическому циклу, относится к III категории надёжности, так как не является основным объектом технического назначения базового производства соответствующего региона.

Электроснабжение магазина «Строительные и отделочные материалы» осуществляется на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ от вводного распределительного устройства (далее – ВРУ), который конструктивно выполнен в виде главного распределительного щита (далее – ГРЩ).

Питание ВРУ (ГРЩ) магазина «Строительные и отделочные материалы» осуществляется одним силовым кабелем от понизительной подстанции ТП-10/0,4 кВ, от которой также получают питание другие промышленные и административные потребители.

РУ-10 кВ рассматриваемой понизительной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы», конструктивно выполнены с применением ячеек наружной установки двухстороннего обслуживания типа КРУ-К-59 (производитель – ЗАО «Завод высоковольтного оборудования» (ЗАО «ЗВО»)) с установленными в них

выключателями с использованием втычных контактов вместо разъединителей [10], [12].

В виду того, что инновационные разработки оборудования КРУ предусматривают применение ячеек с наличием втычных контактов, следовательно, разъединители в ячейках КРУН-10 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы», не устанавливаются [17].

Поэтому в РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы», рассматриваемой в работе, применяются блоки «линия-выключатель нагрузки» (без разъединителей) на питающей линии.

Окончательное число данных блоков в принципиальной схеме РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, равно как и число силовых трансформаторов для установки на данной ТП, определяется с учётом питания дополнительных сторонних потребителей [7]. С учётом нагрузки сторонних потребителей, в работе далее проводится решение этой поставленной задачи.

Исходя из рекомендаций [7], [11], а также исходных данных к выполнению работы, с учётом непосредственного питания от ТП-10/0,4 кВ дополнительных сторонних потребителей, при количестве отходящих линий  $n \geq 2$ , которое имеется согласно исходных данных, для РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» принята схема «Одна рабочая секционированная выключателем система сборных шин».

При этом, в свою очередь, секционный выключатель для РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ обязательно должен быть предусмотрен в схеме на питающей подстанции энергосистемы.

В схемах РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ питающей тупиковой подстанции ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы», рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы, рекомендованный [7].



При таком режиме работы секционный выключатель 10 кВ, установленный на питающей подстанции (для схемы РУ-10 кВ), а также секционный автомат в РУ-0,4 кВ, в нормальном режиме работы отключены, включаясь под действием устройства автоматического включения резерва (АВР) при исчезновении напряжения по каким-то причинам на одной из секций сборных шин соответствующего класса напряжения согласно требованиям [10].

В результате проведённого описания объекта исследования с учётом категории надёжности, с последующим выбором схем электрических соединений на питающей ТП-10/0,4 кВ, можно сделать вывод, что питающая ТП-10/0,4 кВ, которая выступает в роли источника питания объекта проектирования, является современной и крайне необходимой для работы и снабжения электроэнергией системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Далее от питающей ТП-10/0,4 кВ получает питание ВРУ (ГРЩ) рассматриваемого в работе магазина.

Так как проектируемый магазин «Строительные и отделочные материалы» относится к объектам средней мощности III категории надёжности, принимается питание от ТП-10/0,4 кВ ко ВРУ (ГРЩ) данного магазина по радиальной схеме одним питающим пятижильным силовым кабелем марки ВВГнг-LS, сечение которого выбирается и проверяется в работе далее. В данном случае применяется классический вариант трёхфазной пятипроводной сети типа TN-C-S [12].

При этом кабельная линия, идущая от ТП-10/0,4 кВ до ВРУ (ШРЩ), образует питающую сеть 0,38/0,22 кВ проектируемого магазина.

На объекте проектирования необходимо предусмотреть силовые распределительные шкафы (далее – СРШ) согласно требованиям технологического процесса работы магазина.

Как правило, все СРШ располагаются у стен с внешней стороны магазина.

Количество и расположение СРШ выбирается в работе далее на основании распределения электрических нагрузок потребителей магазина, которые будут от них питаться.

При этом рационально разделить все потребители по СРШ, отдельно подключив на разные СРШ различные потребители исходя из их назначения.

Исходя из этого, в работе принято решение, что в целях надёжности и безопасности, каждый СРШ предполагается запитать от шин ВРУ(ГРЩ) по радиальной схеме. Такая схема позволит разделить группы потребителей магазина, разные по технологическому назначению и процессу.

Далее от СРШ предполагается запитать конечные потребители проектируемого магазина.

Особенностью данных потребителей является то, что практически все они – однофазные, поэтому для их непосредственного питания от соответствующих СРШ необходимо выбрать соответствующее оборудование: однофазные автоматы и трёхжильные кабели (применяется трёхпроводная сеть TNS: фазный, нулевой и заземляющий проводник).

В связи с этим, предполагается питание конечных потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы» от СРШ по магистральной схеме, которая рекомендована для данной цели по причине экономичности. Такая схема электроснабжения полностью соответствует питанию потребителей III категории надёжности согласно [12].

Для защиты электрической силовой сети магазина «Строительные и отделочные материалы» от ненормальных режимов (токов КЗ, перегрузки и т.д.) применяются автоматические выключатели, которые в принятой схеме электроснабжения объекта проектирования разделяются на следующие виды (по месту их установки в системе электроснабжения):

– трёхфазный автомат ввода ВРУ (ГРЩ) – защищают всю систему электроснабжения магазина от токов внешних токов КЗ (со стороны источника питания на ТП-10/0,4 кВ);

– трёхфазные автоматы ввода СРШ – необходимы для защиты и коммутации данных распределительных щитов и групп потребителей, которые от них питаются;

– однофазные автоматы (линейные автоматы) – применяются для защиты и коммутации конечных потребителей сети магазина «Строительные и отделочные материалы».

Все перечисленные автоматы выбраны и проверены в работе далее и приведены на графическом листе 2.

«Кроме того, в системе электроснабжения проектируемого магазина «Строительные и отделочные материалы» необходимо предусмотреть следующие виды освещения» [2]:

- «ЩРО (щиток рабочего освещения) [2];
- «ЩАО (щиток аварийного освещения) [2].

При этом, согласно требованиям [12], питание щитков рабочего и аварийного освещения в обязательном порядке должно осуществляться от различных источников по условию резервирования.

Так как питание магазина от ТП-10/0,4 кВ осуществляется одной кабельной линией, что соответствует потребителям III категории надёжности, следовательно, в качестве второго источника питания должен быть предусмотрен агрегат гарантированного питания (АГП), который в работе принят в виде трёхфазного источника бесперебойного питания (ИБП) аккумуляторного типа [16].

Поэтому, исходя из требований нормативных документов [12], в работе приняты следующие источники питания для освещения магазина:

- рабочее освещение – от ЩРО по цепи: ТП-ВРУ (ГРЩ)-ЩРО;
- аварийное освещение – от аккумуляторного трёхфазного ИБП.

«Для защиты электрической осветительной сети магазина «Строительные и отделочные материалы» от ненормальных режимов (токов КЗ, перегрузки и т.д.) применяются автоматические выключатели, которые по назначению и месту установки делятся на следующие типы» [12]:

– «трёхфазные автоматы ввода осветительных распределительных щитов: ЩРО и ЩАО» [12];

– «однофазные автоматы для защиты распределительных линий (групп) освещения» [12].

Для питания ЩРО и ЩАО от ВРУ-0,4 кВ в работе выбираются негорючие пятижильные кабели марки ВВГнг-LS.

Принятая в работе схема электроснабжения обеспечивает бесперебойное питание силовой и осветительной сети магазина «Строительные и отделочные материалы» и обеспечивает необходимую надёжность потребителей, а также экономичность передачи электроэнергии и безопасность людей согласно требований [4], [7], [10].

План расположения потребителей, а также питающей и распределительной силовой объекта проектирования показан в графической части работы.

На основании приведённых технических данных и выбранных схем электрических соединений, являющихся основой для рассматриваемой в работе системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», далее в работе проводится детальный выбор и проверка элементов системы электроснабжения данного объекта проектирования.

## **2.2 Расчёт электрического освещения магазина**

«Расчёт электрического освещения магазина «Строительные и отделочные материалы» состоит из светотехнического и электротехнического расчётов» [7], [8].

«При этом в работе выбираются и применяются инновационные светодиодные лампы, которые заменили устаревшие и неэффективные лампы накаливания, использовавшиеся ранее» [8].

«В связи с этим, выбирается светильник типа PHILIPS MASSIVE Hearst White потолочного подвесного типа монтажа с установкой одной

светодиодной лампы (тип цоколя – E27)» [9].

«Для освещения помещений магазина «Строительные и отделочные материалы» выбирается равномерное размещение светильников по вершинам прямоугольников как наиболее рациональное» [7].

«Оптимальное расстояние между светильниками определяется следующим образом» [7]:

$$\lambda_c \cdot H_p \leq L \leq \lambda_3 \cdot H_p, \quad (1)$$

где  $H_p$  – «расчётная высота подвеса светильника, м» [7], [8];

$\lambda_c, \lambda_3$  – «относительные светотехнические и энергетические выгоднейшие расстояния между светильниками, м» [7], [8].

«Расчётная высота подвеса выбранного типа светильника вычисляется так» [7]:

$$H_p = H_o - h_{cs} - h_{раб}, \quad (2)$$

где  $h_{раб}$  – «высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м» [7,8].

«По рассчитанному значению  $L$ , длине  $A$  и ширине  $B$  помещения определяют число светильников по длине помещения, шт.» [7]:

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L} + 1. \quad (3)$$

«Число светильников по ширине помещения, шт.» [7]:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L} + 1. \quad (4)$$

«Общее число светильников, шт.» [7]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (5)$$

«Действительное расстояние между светильниками и рядами» [7]

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}. \quad (6)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (7)$$

Проводится расчёт размещения светильников на примере производственно-складского помещения-5 магазина «Строительные и отделочные материалы».

«Расчётная высота подвеса светильника» [7], [8]

$$H_p = 4,6 - 0,6 - 1,5 = 2,5 \text{ м.}$$

«Оптимальное расстояние между светильниками» [7], [8]

$$0,5 \cdot 2,5 = 1,25 \leq L = 2.$$

«Число светильников по длине помещения, шт.» [7]:

$$N_A = \frac{4,5 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

«Число светильников по ширине помещения» [7,8]

$$N_B = \frac{4 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

«Общее число светильников» [7], [8]

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ шт.}$$

«Действительное расстояние между светильниками» [7], [8]

$$L_A = \frac{4,5}{3} = 1,5 \text{ м.}$$

«Действительное расстояние между рядами» [7], [8]

$$L_B = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ м.}$$

«Расчёт освещения проводится методом коэффициента использования светового потока» [7]

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta_u}, \quad (8)$$

где  $K_3$  – «коэффициент запаса ( $K_3=1,15$  для светодиодных ламп)» [7], [8].

«Для определения справочного коэффициента использования светового потока в относительных единицах, необходимо найти индекс помещения согласно» [7]

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}. \quad (9)$$

«Далее, пользуясь справочными материалами, выбирается стандартный

тип лампы со световым потоком» [7].

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света рассчитывается так» [7]:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ис} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (10)$$

«Индекс помещения» [7]

$$i = \frac{4,5 \cdot 4}{2,5 \cdot (4,5 + 4)} = 0,85.$$

«Для выбранного типа светильника PHILIPS MASSIVE Hearst White потолочного подвесного типа, при значении  $i=0,85$  определяется справочный коэффициент использования светового потока в относительных единицах, который равен значению  $\eta_{и} = 0,75$ » [8].

«Световой поток лампы светильника» [8]

$$\Phi = \frac{300 \cdot 18 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,75} = 1012 \text{ лм.}$$

«Выбирается светодиодная LED лампа типа Philips Ecohome LED Bulb 11W E27 3000K 1PF/20RCA со стандартным световым потоком  $\Phi_{ст} = 1150$  лм» [10].

«Мощность лампы в светильнике равна 11 Вт, количество ламп в светильнике – одна» [8].

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света для расчётного объекта находится в допустимых пределах» [8] –  $10 \div 20\%$



$$\Delta\Phi = \frac{1150 - 1012}{1012} \cdot 100 = 13,6 \%$$

Условия выполняются.

Эскиз размещения источников освещения производственно-складского помещения №5 магазина «Строительные и отделочные материалы» представлен на рисунке 1.

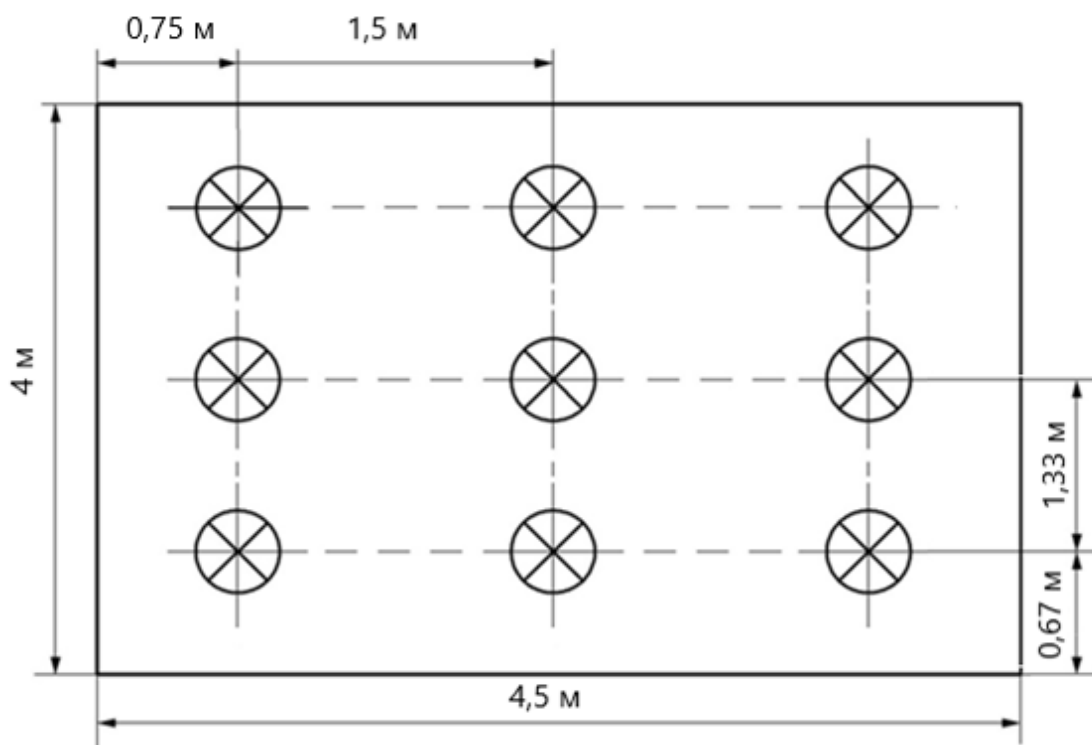


Рисунок 1 – Эскиз размещения источников освещения производственно-складского помещения №5

Такое расположение светильников для освещения производственно-складского помещения магазина №5 «Строительные и отделочные материалы» является равномерным и экономичным, поэтому окончательно принято в работе.

Расчёт освещения остальных помещений проектируемой системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» выполнен аналогично.

Результаты светотехнического расчёта помещений проектируемой системы освещения магазина «Строительные и отделочные материалы»

приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты светотехнического расчёта помещений магазина «Строительные и отделочные материалы»

Помещение	Тип источника света (лампа)	S, м <sup>2</sup>	Ен, лк	Н св. (длина) × Н св.(ширина) = Н св.(общее), шт.
1 этаж				
Торговый зал	Philips Ecohome LED Bulb 11W E27 3000K 1PF/20RCA со стандартным световым потоком Фст = 1150 лм; в светильнике одна лампа	240,0	250	10×11=110
Пост охраны		12,0	250	3×2=6
Вестибюль		24,0	200	4×3=12
Зал приёма посетителей		27,0	200	4×3=12
Санузел		5,0	120	1×2=2
Производственно-складское помещение-1		24,0	300	5×3=15
Производственно-складское помещение-2		24,0	300	5×3=15
Производственно-складское помещение-3		16,0	250	4×2=8
Производственно-складское помещение-4		14,0	250	4×2=8
Производственно-складское помещение-5		18,0	300	3×3=9
Производственно-складское помещение-6		10,5	300	3×2=6
Производственно-складское помещение-7		9,0	300	3×2=6
Зона выдачи товара		12,0	250	4×2=8
Зона кассовых аппаратов	9,0	250	4×2=8	
2 этаж				
Раздевалка	Philips Ecohome LED Bulb 11W E27 3000K 1PF/20RCA со стандартным световым потоком Фст = 1150 лм; в светильнике одна лампа	16,0	200	3×2=6
Душевая		12,0	200	2×2=4
Коридор		18,0	150	2×2=4
Сан.узел		5,0	150	1×2=2
Директор		16,0	200	3×2=6
Офис		16,0	200	3×2=6
Всего по магазину				253

Исходя из выбранных источников освещения и их количества, проводится расчёт значения суммарной нагрузки освещения магазина

$$P_{\text{осв.н}} = 253 \cdot 0,012 = 3,036 \text{ кВт} \approx 3,04 \text{ кВт.}$$

«Расчётная реактивная нагрузка освещения» [8]:

$$Q_{\text{осв.н}} = P_{\text{осв.н}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВАр}, \quad (11)$$

где  $\text{tg}\varphi$  - «коэффициент реактивной мощности источников света» [7].

$$Q_{\text{осв.н}} = 3,04 \cdot 0,33 \approx 1 \text{ квар.}$$

«Полная расчётная нагрузка освещения магазина» [7]:

$$S_{\text{осв.н}} = \sqrt{P_{\text{осв.н}}^2 + Q_{\text{осв.н}}^2}, \text{ кВА.} \quad (12)$$

$$S_{\text{осв.н}} = \sqrt{3,04^2 + 1^2} = 3,2 \text{ кВА.}$$

«Дополнительно в работе принимается 0,5 кВт на наружное освещение магазина» [8] (подсветка здания и фасада, афиши, световая реклама и т.д.).

«Аварийное освещение в работе принимается 10% от рабочего освещения согласно» [12]. Электроснабжение щитка аварийного освещения осуществляется от ИБП магазина «Строительные и отделочные материалы».

Поэтому окончательные нагрузки освещения в работе будут равны:

$$P_{\text{осв.н}} = 3,04 + 0,5 = 3,54 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{осв.н}} = 3,54 \cdot 0,33 \approx 1,17 \text{ квар.}$$

$$S_{\text{осв.н}} = \sqrt{3,54^2 + 1,17^2} = 3,72 \text{ кВА.}$$

### 2.3 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по проектированию схемы электрических соединений системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения объекта проектирования, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников.

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» является проектная установленная номинальная нагрузка потребителей, которая принимается равной расчётной активной нагрузке.

В работе проводится расчёт нагрузок потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы», который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса.

Расчётная активная нагрузка силовых потребителей до 1 кВ потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы», кВт:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (13)$$

где  $P_n$  – значение суммарной номинальной активной мощности потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы», кВт;  
 $K_c$  – справочное значение коэффициента спроса проектируемой системы электроснабжения потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы».

Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы», квар:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (14)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением до 1 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» определяется по (1) и (2), а полная мощность определяется так:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (15)$$

Расчетный ток потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы», с учётом приведённых и определённых условий и расчётных данных по (13) – (15), определяется так:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (16)$$

В «работе рассматривается расчет силовых электрических нагрузок на примере потребителя №1 по плану (таблица 1)» [8].

Активная и реактивная нагрузки потребителя №1 по плану

$$P_p = 1,0 \cdot 1 = 1,0 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1,0 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ квар.}$$

Определяется полная расчётная нагрузка и значение расчётного тока потребителя №1 по плану

$$S_p = \sqrt{1,0^2 + 0,2^2} = 1,02 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{1,02}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1,57 \text{ А.}$$

Результаты расчёта заносятся в таблицу 4.

Аналогично рассчитаны нагрузки для других потребителей проектируемой электрической сети магазина «Строительные и отделочные материалы» (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей магазина

Наименование электроприемника	Rном, кВт	Кол -во	PуΣ, кВт	Kс	cos φ	tg φ	Pp, кВт	Qp, кВар	Sp, кВА	Ip, А
Противопожарная сигнализация	1	1	1	1,0	0,98	0,20	1	0,20	1,02	1,57
Система наблюдения	0,5	1	0,5	1,0	0,98	0,20	0,5	0,10	0,51	0,78
Компьютерная сеть	0,5	1	0,5	1,0	0,98	0,20	0,5	0,10	0,51	0,78
Тепловые завесы	4	3	12	0,9	0,85	0,62	10,8	6,69	12,71	19,55
Нагреватели (П1, П2)	30	2	60	0,8	0,95	0,33	48	15,78	50,53	77,74
Вентилятор	7,5	1	7,5	0,8	0,75	0,88	6	5,29	8,00	12,31
Кондиционеры	4,72	2	9,44	0,5	0,75	0,88	4,72	4,15	6,28	9,67
Испытательный стенд	11,5	1	11,5	0,7	0,93	0,40	7,774	3,07	8,36	12,86
Розетки	6,5	1	6,5	1,0	0,95	0,33	6,5	2,14	6,84	10,52
Бойлер	3	1	3	1,0	0,95	0,33	3	0,99	3,16	4,86
Полотенцесушитель	2	1	2	0,4	0,95	0,33	0,8	0,26	0,84	1,29
Кассовое оборудование	2	6	12	0,4	0,95	0,33	4,8	1,58	5,05	7,77
Миксер производственный	1,5	2	3	0,7	0,75	0,88	2,1	1,85	2,80	4,31
Смеситель производственный	10,75	1	10,75	0,7	0,9	0,48	7,525	3,64	8,36	12,86
Тельфер электрический	12,5	2	25	0,7	1,0	0,33	17,5	5,75	18,42	28,34
Сварочная установка	4,5	1	4,5	0,7	0,95	0,33	3,15	1,04	3,32	5,11
Бетономешалка	12,5	1	12,5	0,7	0,9	0,48	8,75	4,24	9,72	14,95
Дозатор	2,53	1	2,53	0,7	1,0	0,33	1,771	0,58	1,86	2,86
Розетки	2	2	4	0,7	0,95	0,33	2,8	0,92	2,95	4,54
Розетки	2	5	10	0,7	0,95	0,33	7	2,30	7,37	11,34
Упаковочная машина	2	7	14	0,7	0,95	0,33	9,8	3,22	10,32	15,88
Рабочее освещение	2,92	1	2,92	1	0,98	0,20	2,92	0,58	2,98	4,58
Аварийное освещение	0,29	1	0,29	1	0,98	0,20	0,29	0,06	0,30	0,46
Итого	-	-	215,4	0,71	0,99	0,07	158,0	64,5	170,7	262,2

Результаты расчёта нагрузок для отдельных потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы» используются в работе далее при выборе аппаратов и проводников к ним.

«Далее в работе необходимо распределить потребители по соответствующим силовым распределительным щитам и рассчитать нагрузку для каждого СРШ магазина «Строительные и отделочные материалы» отдельно с учётом коэффициентов одновременности максимума нагрузки ( $K_o$ )» [9].

Исходя из этого, далее в работе проводится расчёт суммарной нагрузки всех СРШ отдельно, а также нагрузки всего магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом коэффициента одновременности включения нагрузки всех его конечных потребителей.

При этом в работе принимаются следующие значения коэффициента одновременности  $K_o$  [19]:

- для силовых щитов (СРШ) –  $K_o=0,9$ ;
- для щитов освещения (ЩРО, ЩАО) –  $K_o=1$ .

В работе необходимо также предусмотреть распределительные щиты:

- СРШ 1 – СРШ 4 – силовые распределительные шкафы для силовой нагрузки;
- ЩРО – щит рабочего освещения (определяется по удельной плотности нагрузки освещения, лампы – светодиодные) [4];
- ЩАО – щит аварийного освещения (принимается 10% от нагрузки рабочего освещения) [4].

Также проведены расчёты нагрузки секций шин ВРУ (ГРЩ) с учётом выбранной схемы.

Такая схема электроснабжения объекта соответствует нормам [12].

Результаты расчёта электрических нагрузок СРШ и всего магазина «Строительные и отделочные материалы» в целом представлены в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта электрических нагрузок СРШ магазина «Строительные и отделочные материалы»

№ п/п Наименование распределительного щита и потребителей, питающихся от него	Рном, кВт	Кол -во	Р <sub>уΣ</sub> , кВт	Р <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А
<b>СРШ1</b>							
Кассовое оборудование	2	6	12	4,8	1,58	5,05	7,77
Миксер производственный	1,5	2	3	2,1	1,85	2,80	4,31
Смеситель производственный	10,75	1	10,75	7,525	3,64	8,36	12,86
Тельфер электрический	12,5	2	25	17,5	5,75	18,42	28,34
Сварочная установка	4,5	1	4,5	3,15	1,04	3,32	5,11
Бетономешалка	12,5	1	12,5	8,75	4,24	9,72	14,95
Дозатор	2,53	1	2,53	1,771	0,58	1,86	2,86
Упаковочная машина	2	7	14	9,8	3,22	10,32	15,88
Всего по СРШ1	48,28	21	109,3	49,9	19,7	53,7	82,5
<b>СРШ2</b>							
Противопожарная сигнализация	1	1	1	1	0,20	1,02	1,57
Система наблюдения	0,5	1	0,5	0,5	0,10	0,51	0,78
Компьютерная сеть	0,5	1	0,5	0,5	0,10	0,51	0,78
Испытательный стенд	11,5	1	11,5	7,774	3,07	8,36	12,86
Всего по СРШ2	13,5	4	13,5	8,8	3,1	9,34	14,4
<b>СРШ3</b>							
Тепловые завесы	4	3	12	10,8	6,69	12,71	19,55
Нагреватели (П1, П2)	30	2	60	48	15,78	50,53	77,74
Вентилятор	7,5	1	7,5	6	5,29	8,00	12,31
Кондиционеры	4,72	2	9,44	4,72	4,15	6,28	9,67
Всего по СРШ3	46,22	8	78,94	62,6	28,7	68,9	105,9
<b>СРШ4</b>							
Розетки	6,5	1	6,5	6,5	2,14	6,84	10,52
Бойлер	3	1	3	3	0,99	3,16	4,86
Полотенцесушитель	2	1	2	0,8	0,26	0,84	1,29
Розетки	2	2	4	2,8	0,92	2,95	4,54
Розетки	2	5	10	7	2,30	7,37	11,34
Всего по СРШ4	15,5	10	25,5	18,1	5,9	19,1	29,3
<b>ЩРО</b>							
ЩРО (с учётом K <sub>о</sub> =1)	3,54	1	3,54	3,54	1,17	3,72	5,77
<b>ЩАО</b>							
ЩАО (с учётом K <sub>о</sub> =1)	0,35	1	0,35	0,35	0,12	0,37	0,58
Итого	-	-	-	142,6	58,4	154,1	237,1

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников



спроектированной системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Все поставленные задачи решаются в работе далее.

## 2.4 Выбор силовых трансформаторов на питающей подстанции

С учётом разработанной и обоснованной схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

Так как понизительные трансформаторы магазина «Строительные и отделочные материалы» питают также другие сторонние «потребители, большинство из которых относится ко II категории надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции устанавливаются два силовых трансформатора» [4].

При выборе трансформаторов на питающей подстанции необходимо также учесть нагрузку сторонних потребителей, которых питает эта ТП-10/0,4 кВ.

«Выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ в работе проводится по условию» [17]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{см.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (17)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – «номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на питающей ТП-10/0,4 кВ» [17];  
 $S_{\text{ном.т.р}}$  – «расчетная мощность силового трансформатора, установленного на питающей ТП-10/0,4 кВ, кВА» [17];

$P_p$  – «суммарная активная нагрузка потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы», которые получают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт» [17];

$P_{ст.}$  – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от данной ТП-10/0,4 кВ, кВт» [17].

Для питающей ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители магазина «Строительные и отделочные материалы», а также стороннюю нагрузку, расчётная мощность силового трансформатора с резервированием по (17):

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{154,1 + 150}{2 \cdot 0,8} = 190,1 \text{ кВА.}$$

По полученным результатам расчёта, для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители магазина «Строительные и отделочные материалы», а также стороннюю нагрузку, в работе выбраны два силовых трансформатора марки ТМ-250/10 У1 [12].

Данный тип силового трансформатора выполнен с наличием расширительного бака и хорошо зарекомендовал себя при эксплуатации и ремонте.

Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Кроме того, далее в работе «проводится проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы» [8], которая выполняется в работе далее после выбора компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ.

«Конструктивно питающая ТП-10/0,4 кВ проектируемого магазина выполнена в виде комплектной подстанции с применением комплектных распределительных устройств» [8] номинальных классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ (далее – КТП).

## 2.5 Компенсация реактивной мощности на питающей ТП

Согласно методике [11], после предварительного выбора количества и марки «силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, следует проверить условия компенсации реактивной мощности» [11] в рассматриваемой системе электроснабжения, и, если это необходимо, установить компенсирующие устройства (далее – КУ) в узлах системы электроснабжения.

Как правило, установка КУ в данном случае предполагается на шинах низкого напряжения 0,4 кВ ТП. Таким образом, будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и СРШ и ВРУ.

На питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» (с учётом нагрузки сторонних потребителей), следует провести расчёт с возможной установкой компенсирующих устройств на шинах низкого напряжения (на обеих секциях сборных шин 0,4 кВ).

«Реактивная мощность, которую способен пропустить через себя силовой трансформатор на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом нагрузки сторонних потребителей» [8]

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - (P_p + P_{\text{ст.}})^2}, \quad (18)$$

где  $N$  – «число трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт.» [8];

$\beta_T$  – «коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ (установленное значение)» [8].

«Расчётная мощность КУ на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» определяется так» [8]:

$$Q_{\text{н.к}} = (Q_p + Q_{\text{ст.}}) - Q_T, \quad (19)$$

где  $Q_p$  – «реактивная нагрузка магазина, квар» [8];

$Q_{cm}$  – «реактивная нагрузка сторонних потребителей, квар» [8].

«Суммарная расчетная мощность КУ»:

$$Q_{КУ} = n \cdot Q_{н.к.} \quad (20)$$

«С учётом установки компенсирующих устройств на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина» [13]

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{КУ})^2} \quad (21)$$

«Проверка выбранных трансформаторов в нормальном режиме с учётом выбранных КУ по допустимому коэффициенту загрузки» [12]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,85. \quad (22)$$

«Проверка выбранных ранее трансформаторов по допустимому коэффициенту загрузки в послеаварийном режиме с учётом выбранных типов и мощности КУ на ТП-10/0,4» [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (23)$$

Согласно (18)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 250)^2 - (154,1 + 150)^2} = 250,1 \text{ квар.}$$

Согласно (19)

$$Q_{н.к} = (58,4 + 56,6) - 250,1 = -135,1 \text{ квар.}$$

Поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются.

Значит, расчётная нагрузка питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом сторонних потребителей будет определяться так:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{ст.})^2 - (Q_p + Q_{ст.})^2}, \text{ кВА.} \quad (24)$$

$$S_p = \sqrt{(154 + 150)^2 - (58,4 + 56,6)^2} = 328,8 \text{ кВА.}$$

Проверка выбранных трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом сторонних потребителей в нормальном режиме [12]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (25)$$

Проверка трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ в нормальном режиме выполняется

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot 328,8}{250} = 0,66 \leq 0,8.$$

Далее в работе осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае

выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам (условия резервирования) [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ТП по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверка выбранных ранее трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом сторонних потребителей в ПАВ режиме [12] магазина «Строительные и отделочные материалы» проводится таким образом (принимается максимальное значение коэффициента резервирования, равное 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ – новый, следовательно, износ его отсутствует и не учитывается в работе) [12]:

$$K_3^{n.av} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (26)$$

Проверка трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в ПАВ режиме выполняется

$$K_3^{n.av} = \frac{328,8}{250} = 1,3 \leq 1,6.$$

Условие проверки силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки потребителей второй сторонней секции сборных шин 0,4 кВ, в работе выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТМ-250/10, питающие нагрузку потребителей системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», удовлетворяет условиям

проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом питания сторонних потребителей II категории надёжности.

Согласно полученных результатов расчёта, в работе можно сделать следующие выводы:

– поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются и расчётное значение электрических нагрузок (активной, реактивной и полной) в работе остаётся неизменным и принимается равным значениям, полученным до проведения выбора КУ;

– с учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ТП-10/0,4 кВ, окончательно принимается на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТМ-250/10, которые удовлетворяют проверке на нагрузочную способность как в нормальном режиме, так и в послеаварийном режиме работы при выходе одного из силовых трансформаторов питающей ТП из строя.

Полученные результаты учитываются в работе далее.

## **2.6 Выбор и проверка проводников**

Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы». Выбору подлежат следующие проводники напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 согласно разработанной схеме электрических

соединений системы электроснабжения магазина, «Строительные и отделочные материалы»:

– питающая сеть 10 кВ – кабельная линия напряжением 10 кВ от питающей ТП энергосистемы до РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ;

– питающая сеть 0,38/0,22 кВ – кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ от шин 0,4 кВ ТП до ВРУ-0,4 кВ (ГРЩ) магазина;

– распределительная сеть 0,38/0,22 кВ – от секций сборных шин напряжением 0,4 кВ ВРУ-0,4 кВ (ГРЩ) до всех СРШ магазина (включая ЩРО и ЩАО), и от СРШ до конечных потребителей магазина.

«Проводится определение и выбор сечений кабельной линии напряжением 10 кВ (для питания ТП-10/0,4 кВ)» [1]. Данная линия состоит из двух кабелей (по количеству трансформаторов, установленных на питающей ТП-10/0,4 кВ).

«Известно, что кабельные линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по «экономической плотности тока» [1]:

$$F_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (27)$$

где  $j_3$  – «экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [8].

Для кабельных линий 10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», в работе при проведении расчётов принято значение экономической плотности тока  $j_3 = 1,6$  А/мм<sup>2</sup> [11].

«Значение рабочего тока кабельной линии» [14]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (28)$$



«Максимальный расчётный ток кабеля с учётом резервирования» [8]

$$I_{p.\max} = 1,4 I_{p.\max} \cdot \quad (29)$$

«Условие проверки кабеля по току нормального режима» [14]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (30)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – «длительно – допустимый ток выбранного кабеля» [1].

«Условие проверки кабеля по току послеаварийного режима» [14]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\max}. \quad (31)$$

Проверка на потери напряжения в линии с учётом длины и марки КЛ:

$$\Delta U\% = \frac{S_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \quad (32)$$

где  $S_p$  – «значение расчётной полной нагрузки ТП-10/0,4 кВ, кВА» [8];

$l$  – «длина кабельной линии, км» [8].

«Для питающего кабеля ТП-10/0,4 кВ от ТП энергосистемы» [8]

$$I_p = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,5 \text{ A.}$$

$$F_9 = \frac{14,5}{1,6} = 9 \text{ мм}^2.$$

«Для питающего кабеля ТП-10/0,4 кВ от ТП энергосистемы выбирается ближайшее стандартное сечение кабеля  $F=16 \text{ мм}^2$ » [8]. «Принимается кабель

марки АСБ-10 (3×16) с предельно-допустимым током  $I_{дон}=75 \text{ А}$ » [1].

Предусматривается условие прокладки КЛ в стандартной кабельной траншее.

Проводится проверка выбранного сечения кабеля 10 кВ:

– на допустимый нагрев в нормальном режиме работы

$$75 \text{ А} \geq 14,5 \text{ А.}$$

Условие проверки выполняется;

– с учётом перегрева в максимальном режиме

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 14,5 = 20,3 \text{ А.}$$

$$75 \text{ А} \geq 20,3 \text{ А.}$$

Условие проверки выполняется;

– на допустимую потерю напряжения в нормальном режиме:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 328,8 \cdot 0,5 \cdot (1,17 \cdot \cos 0,95 + 0,066 \cdot \sin 0,95)}{6000} \cdot 100\% = 1,12\%.$$

Условие проверки выполняется

$$1,12 \% < 5\%.$$

В результате проведения расчётов и проверок установлено, что силовой трёхжильный кабель АСБ-10 (3×16), при условии прокладки в земляной стандартной траншее, удовлетворяет выбору.

Далее в работе проводится выбор кабельных линий питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ по допустимому нагреву по условию [1]

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p. \quad (33)$$

где  $I'_{\text{доп}}$  - длительно допустимый ток кабеля с учётом отклонений от нормальных условий прокладки [3], А.

В работе принимаются к использованию в сети 0,38/0,22 кВ силовые кабели, с медной жилой, с изоляцией, не поддерживающей горения, марки ВВГнг-LS [17]. Выбранные сечения кабеля 0,38/0,22 кВ проверяются на допустимый нагрев в послеаварийном режиме работы по условию [1]

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (34)$$

где  $I_{p.\text{max}}$  – максимальный расчётный ток линии, А [12].

Также выбранное сечение кабеля подлежит проверке на допустимую потерю напряжения аналогично кабелю 10 кВ. Проводится выбор питающей линии от ТП-10/0,4 кВ до ВРУ (ГРЩ) магазина. Расчётный ток для ВРУ (ГРЩ) магазина определён в работе ранее при расчёте электрических нагрузок объекта и равен  $I_p = 237,1$  А. Предусматривается прокладка данного кабеля в земляной стандартной траншее. «Предварительно выбирается кабель марки ВВГнг-LS 5×95 с  $I_{\text{доп}} = 279$  А» [1].

«Допустимый ток данного кабеля» [8]:

$$I'_{\text{доп}} = 1 \cdot 279 = 279 \text{ А.}$$

«Проверка по нагреву током нормального режима выполняются» [8]

$$I'_{\text{доп}} = 279 \text{ А} \geq 237,1 \text{ А.}$$

Условие проверки кабеля по нагреву в послеаварийном режиме не выполняется

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 237,1 = 331,9 \text{ A.}$$

$$279 \text{ A} \leq 331,9 \text{ A.}$$

Следовательно, необходимо принять кабель большего сечения.

Принимается кабель марки ВВГнг-LS 5×120 с  $I_{don} = 335 \text{ A}$  [1].

Условие проверки кабеля по нагреву в послеаварийном режиме выполняется

$$335 \text{ A} \geq 331,9 \text{ A.}$$

«Потери напряжения в кабельной линии соответствуют нормам» [8]:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 106,3 \cdot 0,1 \cdot (0,28 \cdot \cos 0,95 + 0,042 \cdot \sin 0,95)}{380} \cdot 100\% = 2,62\%.$$

$$2,62\% < 5\%.$$

Окончательно принимается в качестве кабеля для питающей линии ТП-10/0,4 кВ – ВРУ(ГРЩ) современный тип силового кабеля марки ВВГнг-LS 5×120 с  $I_{don} = 335 \text{ A}$  (прокладка – в кабельной траншее стандартных конструкций). Остальные кабели выбраны аналогично (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы»

Наименование распредел. щита и потребителей, питающихся от него	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А	Γ <sub>доп</sub> , А	Марка кабеля
СРШ1				
Кассовое оборудование	5,05	7,77	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Миксер производственный	2,80	4,31	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Смеситель производственный	8,36	12,86	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Тельфер электрический	18,42	28,34	34,2	ВВГнг-LS 3×4
Сварочная установка	3,32	5,11	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Бетономешалка	9,72	14,95	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Дозатор	1,86	2,86	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Упаковочная машина	10,32	15,88	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Вводной кабель к СРШ1	53,7	82,5	98,8	ВВГнг-LS 5×25

Продолжение таблицы 6

Наименование КЛ	Sp, кВА	Ip, А	Г <sub>доп</sub> , А	Марка кабеля
СРШ2				
Противопожарная сигнализация	1,02	1,57	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Система наблюдения	0,51	0,78	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Компьютерная сеть	0,51	0,78	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Испытательный стенд	8,36	12,86	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Вводной кабель к СРШ2	9,34	14,4	32,8	ВВГнг-LS 5×4
СРШ3				
Тепловые завесы	12,71	19,55	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Нагреватели (П1, П2)	50,53	77,74	79,8	ВВГнг-LS 3×16
Вентилятор	8,00	12,31	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Кондиционеры	6,28	9,67	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Вводной кабель к СРШ3	68,9	105,9	120,7	ВВГнг-LS 5×35
СРШ4				
Розетки	6,84	10,52	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Бойлер	3,16	4,86	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Полотенцесушитель	0,84	1,29	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Розетки	2,95	4,54	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Розетки	7,37	11,34	25,7	ВВГнг-LS 3×2,5
Вводной кабель к СРШ4	19,1	29,3	32,8	ВВГнг-LS 5×4
ЩРО				
Вводной кабель к ЩРО	2,98	4,58	27,6	ВВГнг-LS 5×2,5
ЩАО				
Вводной кабель к ЩАО	0,30	0,46	27,6	ВВГнг-LS 3×2,5

Результаты выбора кабельных линий питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» говорят о том, что все выбранные кабели удовлетворяют всем условиям проверок. Такие кабели рекомендуются современными требованиями техниче-ски-нормативной документацией [7].

«Все выбранные в работе силовые кабели напряжением 10 кВ и 0,338/0,22 кВ питающей и распределительной сети системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки» [7] по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы, а также по допустимой потере напряжения в выбранной кабельной линии.

## 2.7 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», по принятой в работе схеме электроснабжения (графический лист 2) составляется расчётная схема сети и схема замещения для данного участка сети, а также для всей схемы в целом по методике [12].

Для наглядности, все схемы, применяемые для расчёта токов КЗ, приведены в работе последовательно.

Так как в предложенной в работе схеме электрических соединений системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» каждый силовой трансформатор питающей ТП-10/0,4 кВ работает на свою секцию шин 10 кВ отдельно (применяется отдельный режим работы), с целью упрощения, для расчёта токов КЗ рассматривается один из участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», по которой составляется схема замещения.

Для остальных участков (вторая часть системы электроснабжения объекта) схемы типичных участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», результаты полученных токов КЗ в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», будут отличаться незначительно, находясь в допустимых пределах принятых погрешностей [12].

В работе проводится расчёт следующих видов токов КЗ:

- максимального трёхфазного;
- ударного;
- максимального однофазного.

Составляется расчётная схема для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого замыкания (рисунок 2) и нумеруется на ней точки КЗ.

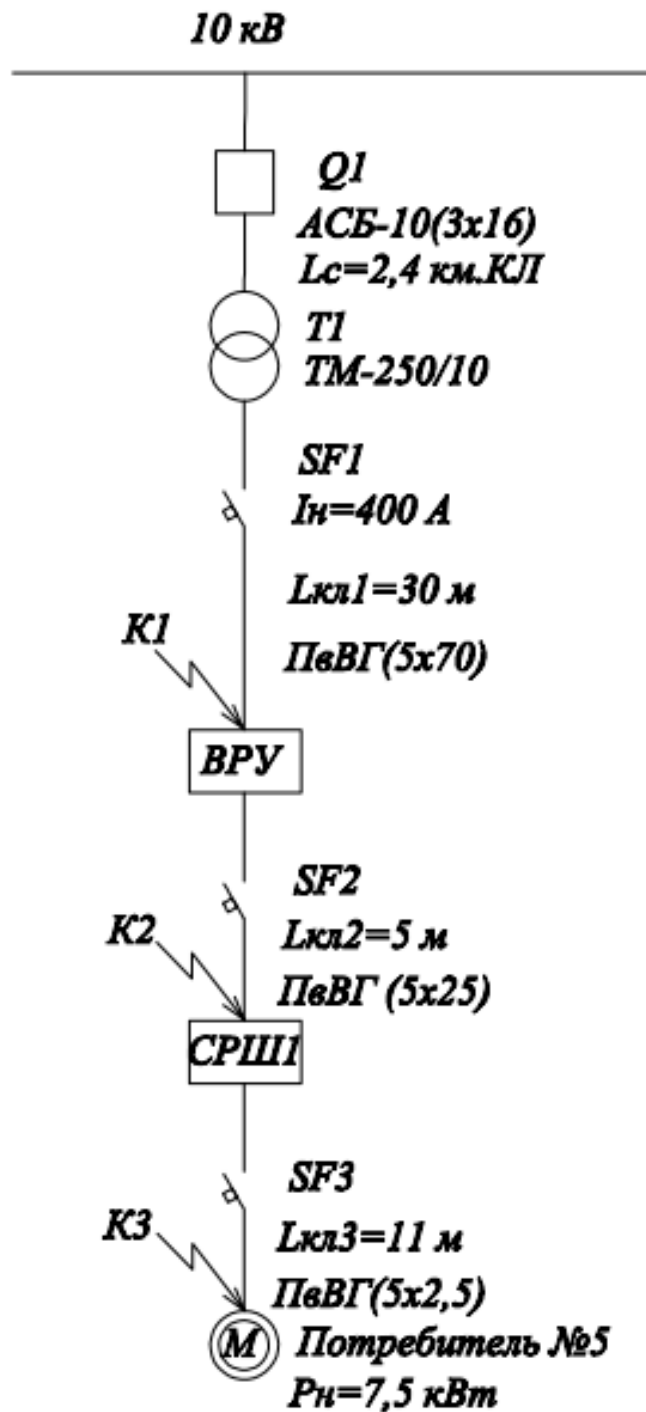


Рисунок 2 – Расчётная схема для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого замыкания

Исходя из расчётной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого замыкания, на которую наносятся все рассчитанные параметры (рисунок 3).

По мере определения параметров, они все наносятся на схему замещения (знаменатель). В числителе показан сам расчётный параметр схемы.

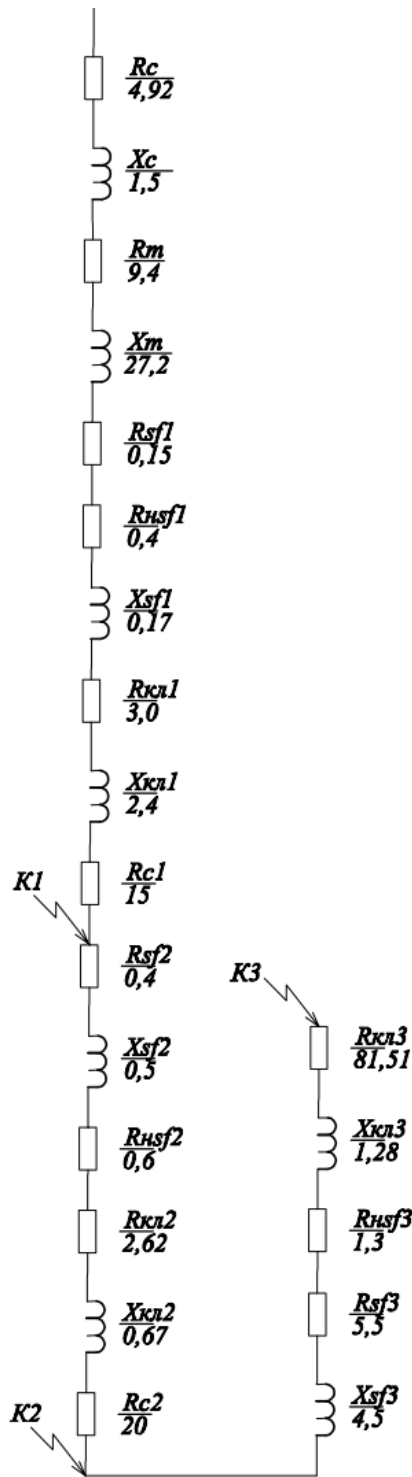


Рисунок 3 – Исходная схема замещения для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого замыкания

«Задача расчёта токов КЗ – рассчитать токи трёхфазного, двухфазного и величину ударных токов КЗ в сети 10 кВ и на вводе 0,4 кВ» [5]. Это будут максимальные токи КЗ, которые будут использованы в работе далее при выборе и проверке оборудования.



«Величина базисного напряжения принимается выше номинального напряжения сети на 5%» [5].

«Исходные данные для проведения расчёта:

– « $L_c = 2,4$  км; где  $L_c$  – длина линии от ГПП до ТП-10/0,4 кВ» [5];

– « $L_{кл1} = 30$  м, где  $L_{кл1}$  – длина линии от ТП-10/0,4 кВ до ВРУ» [5];

– « $L_{кл2} = 5$  м, где  $L_{кл2}$  – длина линии от ВРУ кВ до СРШ1» [5];

– « $L_{кл3} = 11$  м, где  $L_{кл3}$  – длина линии от СРШ1 до потребителя» [5]

номер 5 по плану расположения потребителей объекта.

Далее в работе «вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения» [5].

«Системы» [5]

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_c}, \text{ А.} \quad (35)$$

$$I_c = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{ А.}$$

«Удельное индуктивное сопротивление КЛ марки АСБ-10(3×16):  $x_0 = 0,4$  Ом/км;  $r_0 = 1,28$  Ом/км» [8].

$$X'_c = x_0 L_c, \text{ Ом}; \quad (36)$$

$$R'_c = r_0 L_c, \text{ Ом}; \quad (37)$$

$$X'_c = 0,4 \cdot 2,4 = 0,96 \text{ Ом};$$

$$R'_c = 1,28 \cdot 2,4 = 3,07 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления приводятся к низкому напряжению (НН)» [5]:

$$R_c = R'_c \left( U_{НН} / U_{ВН} \right)^2, \text{ МОм.} \quad (38)$$

$$X_c = X'_c \left( U_{НН} / U_{ВН} \right)^2, \text{ МОм.} \quad (39)$$

$$R_c = 3,072 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 4,92 \text{ мОм.}$$

$$X_c = 0,96 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 1,5 \text{ мОм.}$$

«Для трансформатора ТМ-250/10:  $R_T = 9,4 \text{ мОм}$ ,  $X_T = 27,2 \text{ мОм}$ ;  $Z_T^{(1)} = 312 \text{ мОм}$ ;  $Z_T = 28,7 \text{ мОм}$ » [5].

«Для автоматов схемы: SF<sub>1</sub>:  $R_{SF1} = 0,15 \text{ мОм}$ ;  $X_{SF1} = 0,17 \text{ мОм}$ ;  $R_{HSF1} = 0,4 \text{ мОм}$ ; SF<sub>2</sub>:  $R_{SF3} = 0,4 \text{ мОм}$ ;  $X_{SF3} = 0,5 \text{ мОм}$ ;  $R_{HSF3} = 0,6 \text{ мОм}$ ; SF<sub>3</sub>:  $R_{SF5} = 5,5 \text{ мОм}$ ;  $X_{SF5} = 4,5 \text{ мОм}$ ;  $R_{HSF5} = 1,3 \text{ мОм}$ » [5].

«Для кабельных линий: КЛ1:  $r_{01} = 0,1 \text{ мОм/м}$ ;  $x_{01} = 0,08 \text{ мОм/м}$ » [5].

«При этом» [5]

$$R_{\text{кл1}} = r_{01} \cdot L_{\text{кл1}}, \text{ мОм,} \quad (40)$$

где « $R_{\text{кл1}}$  – активное сопротивление КЛ» [5].

$$X_{\text{кл1}} = x_{01} \cdot L_{\text{кл1}}, \text{ мОм,} \quad (41)$$

где « $X_{\text{кл1}}$  – индуктивное сопротивление КЛ» [5].

Для КЛ в работе:

$$R_{\text{кл1}} = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{кл1}} = 0,08 \cdot 30 = 2,4 \text{ мОм.}$$

КЛ2:  $r_{02} = 0,524 \text{ мОм/м}$ ;  $x_{02} = 0,133 \text{ мОм/м}$ .

Значит, для КЛ2:

$$R_{\text{кл2}} = 0,524 \cdot 5 = 2,62 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{кл2}} = 0,133 \cdot 5 = 0,67 \text{ мОм.}$$

КЛ3:  $r_{03} = 7,41 \text{ мОм}$ ;  $x_{03} = 0,144 \text{ мОм}$ .

Для КЛЗ:

$$R_{\text{кл}3} = 7,41 \cdot 11 = 81,51 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{кл}3} = 0,116 \cdot 11 = 1,28 \text{ мОм.}$$

«Принимается для ступеней распределения:  $R_{c1} = 15 \text{ мОм}$ ;  $R_{c2} = 20 \text{ мОм}$ » [5].

«Упрощается исходная схема замещения путём расчёта эквивалентных сопротивлений схемы на участках между точками КЗ» [5]. «Полученные результаты наносятся на схему (рисунок 4)» [5].

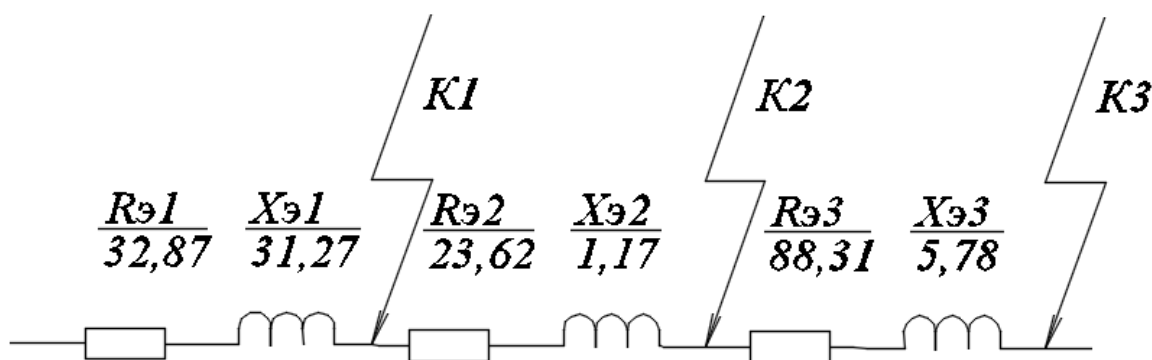


Рисунок 4 – Схема замещения упрощенная

«Выполняется последовательное преобразование схемы относительно расчётных точек КЗ и расчёт эквивалентных сопротивлений для упрощённой схемы замещения» [5]

$$R_{э1} = R_c + R_T + R_{SF1} + R_{H_{SF1}} + R_{c1} + R_{\text{кл}1}, \text{ мОм.} \quad (42)$$

$$R_{э1} = 4,92 + 9,4 + 0,15 + 0,4 + 15 + 3 = 32,87 \text{ мОм.}$$

$$X_{э1} = X_c + X_T + X_{SF1} + X_{\text{кл}1}, \text{ мОм.} \quad (43)$$

$$X_{э1} = 1,5 + 27,2 + 0,17 + 2,4 = 31,27 \text{ мОм.}$$

$$R_{э2} = R_{SF2} + R_{H_{SF2}} + R_{\text{кл}2} + R_{c2}, \text{ мОм.} \quad (44)$$

$$R_{э2} = 0,4 + 0,6 + 2,62 + 20 = 23,62 \text{ мОм.}$$

$$X_{\vartheta 2} = X_{SF2} + X_{кЛ2}, \text{ МОМ.} \quad (45)$$

$$X_{\vartheta 2} = 0,5 + 0,67 = 1,17 \text{ МОМ.}$$

$$R_{\vartheta 3} = R_{SF3} + R_{H_{SF3}} + R_{кЛ3}, \text{ МОМ.} \quad (46)$$

$$R_{\vartheta 3} = 5,5 + 1,3 + 81,51 = 88,31 \text{ МОМ.}$$

$$X_{\vartheta 3} = X_{SF3} + X_{кЛ3}, \text{ МОМ.} \quad (47)$$

$$X_{\vartheta 3} = 4,5 + 1,28 = 5,78 \text{ МОМ.}$$

«Вычисляются сопротивления до каждой точки КЗ» [5]:

$$R_{к1} = R_{\vartheta 1}, \text{ МОМ.} \quad (48)$$

$$R_{к1} = 32,87 \text{ МОМ.}$$

$$X_{к1} = X_{\vartheta 1}, \text{ МОМ.} \quad (49)$$

$$X_{к1} = 31,27 \text{ МОМ.}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2}, \text{ МОМ.} \quad (50)$$

$$Z_{к1} = \sqrt{32,87^2 + 31,27^2} = 45,37 \text{ МОМ.}$$

$$R_{к2} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2}, \text{ МОМ.} \quad (51)$$

$$R_{к2} = 32,87 + 23,62 = 56,48 \text{ МОМ.}$$

$$X_{к2} = X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2}, \text{ МОМ.} \quad (52)$$

$$X_{к2} = 31,27 + 1,17 = 32,44 \text{ МОМ.}$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2}, \text{ МОМ.} \quad (53)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{56,48^2 + 32,44^2} = 65,13 \text{ МОМ.}$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{\vartheta 3}, \text{ МОМ.} \quad (54)$$

$$R_{к3} = 56,48 + 88,31 = 144,79 \text{ МОМ.}$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{\vartheta 3}, \text{ МОМ.} \quad (55)$$

$$X_{к3} = 32,44 + 5,78 = 38,22 \text{ МОМ.}$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2}, \text{ МОМ.} \quad (56)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{144,79^2 + 38,22^2} = 149,75 \text{ мОм.}$$

Отношения активных и индуктивных сопротивлений схемы

$$R_{к1} / X_{к1} = 32,87 / 31,27 = 1,05.$$

$$R_{к2} / X_{к2} = 56,48 / 32,44 = 1,74.$$

$$R_{к3} / X_{к3} = 144,79 / 38,22 = 3,79.$$

Определяются ударные коэффициенты по [7, с.59, рис.1.9.1].

$$K_{y1} = F(R_k / X_k). \quad (57)$$

$$K_{y1} = F(1,05) = 1,0.$$

$$K_{y2} = F(1,74) = 1,0.$$

$$K_{y3} = F(3,79) = 1,0.$$

«Определяются 3-фазные и 2-фазные токи КЗ, а также ударные токи в расчётных точках схемы» [5].

«Значение токов трёхфазного КЗ» [5]:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k}, \text{ кА.} \quad (58)$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 45,37} \cdot 10^3 = 5,09 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 65,13} \cdot 10^3 = 3,37 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 149,75} \cdot 10^3 = 0,85 \text{ кА.}$$

Значение ударных токов трёхфазного КЗ

$$i_{ук} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)}, \text{ кА.} \quad (59)$$

где  $K_y$  - ударный коэффициент.

$$i_{ук1} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,09 = 7,18 \text{ кА.}$$

$$i_{ук2} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,37 = 4,75 \text{ кА.}$$

$$i_{ук3} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,85 = 1,2 \text{ кА.}$$

Значение токов двухфазного КЗ

$$I_k^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к1}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (60)$$

$$I_{к1}^{(2)} = 0,87 \cdot 5,09 = 4,43 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,37 = 2,93 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^{(2)} = 0,87 \cdot 0,85 = 0,74 \text{ кА.}$$

«Составляется схема замещения для расчета однофазных токов КЗ (рисунок 5) и определяются сопротивления схемы» [5].

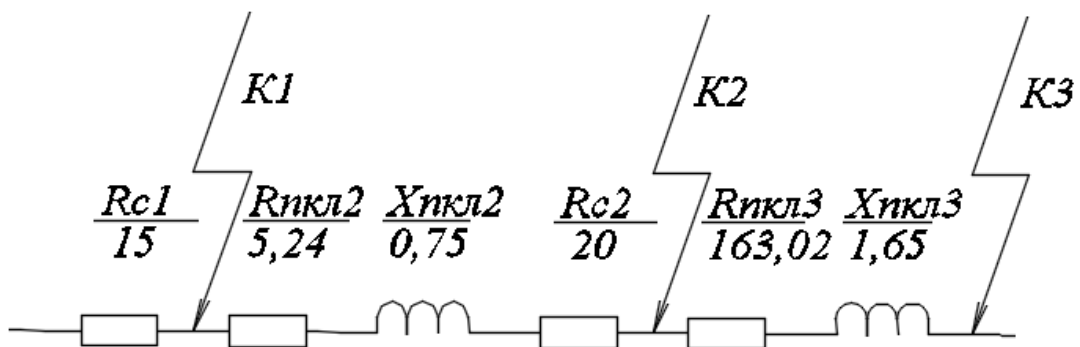


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ

«Для кабельных линий» [5]:

$$R_{пкл2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл2}, \text{ МОм.} \quad (61)$$

$$R_{\text{ПКЛ2}} = 2 \cdot 0,524 \cdot 5 = 5,24 \text{ МОм.}$$

$$X_{\text{ПКЛ2}} = x_{0\text{П}} \cdot L_{\text{КЛ2}}, \text{ МОм.} \quad (62)$$

$$X_{\text{ПКЛ2}} = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ МОм.}$$

$$R_{\text{ПКЛ3}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{КЛ3}}, \text{ МОм.} \quad (63)$$

$$R_{\text{ПКЛ3}} = 2 \cdot 7,41 \cdot 11 = 163,02 \text{ МОм.}$$

$$X_{\text{ПКЛ3}} = x_{0\text{П}} \cdot L_{\text{КЛ3}}, \text{ МОм.} \quad (64)$$

$$X_{\text{ПКЛ3}} = 0,15 \cdot 11 = 1,65 \text{ МОм.}$$

Определяются сопротивления петли «фаза-ноль» ко всем точкам схемы:

$$Z_{\text{П1}} = 15 \text{ МОм.}$$

$$R_{\text{П2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{ПКЛ2}} + R_{\text{с2}}, \text{ МОм.} \quad (65)$$

$$R_{\text{П2}} = 15 + 5,24 + 20 = 35,24 \text{ МОм.}$$

$$X_{\text{П2}} = X_{\text{ПКЛ2}}, \text{ МОм.} \quad (66)$$

$$X_{\text{П2}} = 0,75 \text{ МОм.}$$

$$Z_{\text{П2}} = \sqrt{R_{\text{П2}}^2 + X_{\text{П2}}^2}, \text{ МОм.} \quad (67)$$

$$Z_{\text{П2}} = \sqrt{35,24^2 + 0,75^2} = 35,25 \text{ МОм.}$$

$$R_{\text{П3}} = R_{\text{П2}} + R_{\text{ПКЛ3}}, \text{ МОм.} \quad (68)$$

$$R_{\text{П3}} = 35,24 + 163,02 = 198,26 \text{ МОм.}$$

$$X_{\text{П3}} = X_{\text{П2}} + X_{\text{ПКЛ3}}, \text{ МОм.} \quad (69)$$

$$X_{\text{П3}} = 0,75 + 1,65 = 2,4 \text{ МОм.}$$

$$Z_{\text{П3}} = \sqrt{R_{\text{П3}}^2 + X_{\text{П3}}^2}, \text{ МОм.} \quad (70)$$

$$Z_{\text{П3}} = \sqrt{198,26^2 + 2,4^2} = 198,27 \text{ МОм.}$$

Значение «тока однофазного короткого замыкания в расчётных точках»

[5]:

$$I_{ki}^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_{пi} + Z_T / 3}, \text{ кА.} \quad (71)$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{220}{15 + 312 / 3} = 1,85 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{220}{35,25 + 312 / 3} = 1,57 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^{(1)} = \frac{220}{198,27 + 312 / 3} = 0,73 \text{ кА.}$$

«Все полученные в работе результаты расчёта токов КЗ заносятся в таблицу 7» [5].

Таблица 7 – Результаты расчёта токов КЗ

Точка КЗ	R <sub>к</sub> , МОм	X <sub>к</sub> , МОм	Z <sub>к</sub> , МОм	R <sub>к</sub> / X <sub>к</sub>	K <sub>y</sub> /q	I <sub>к</sub> <sup>(3)</sup> , кА	i <sub>y</sub> , кА	I <sub>к</sub> <sup>(2)</sup> , кА	Z <sub>п</sub> , МОм	I <sub>к</sub> <sup>(1)</sup> , кА
К1	32,87	31,27	45,37	1,05	1,0/1,0	5,09	7,18	4,43	15	1,85
К2	56,48	32,44	65,13	1,74	1,0/1,0	3,37	4,75	2,93	35,25	1,57
К3	144,79	38,22	149,75	3,79	1,0/1,0	0,85	1,20	0,74	198,27	0,73

## 2.8 Выбор основного оборудования и его проверка

«В работе выбор электрических аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по и формулам» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (72)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (73)$$

«Кроме того, аппараты проверяются по условиям отключения токов КЗ и ударных токов, а также на термическую и динамическую стойкость по условиям», приведённым ниже [12].



Для «отключающих аппаратов проводится проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (74)$$

«В данном случае учитывается симметричный (трёхфазный) ток КЗ» [12]. «Для отключающих аппаратов в данной работе должна быть проведена проверка на отключение апериодической составляющей тока КЗ» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (75)$$

где  $\beta_{ном}$  – «номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе короткого замыкания» [12];

$i_{а.ном}$  – «номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе короткого замыкания для времени срабатывания релейной защиты» [12].

«Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость» [12]:

- «по условию номинального тока отключения» [12]

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (76)$$

- «по величине ударного тока» [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (77)$$

где  $i_{дин.}$  – «номинальный ток электродинамической стойкости электрического аппарата».

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (78)$$

где  $I_T$  – «предельный ток термической стойкости аппарата» [12];

$t_T$  – «длительность протекания тока термической стойкости аппарата, с» [12].

«Предварительно выбирается для установки в РУ-10 кВ питающей подстанции энергосистемы для защиты и коммутации трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», вакуумный выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и проводится его проверка по условиям, приведённым выше» [19].

Данные о токе внешнего трёхфазного КЗ и ударном токе на шинах 10 кВ ТП-10/0,4 кВ принимаются по данным энергосистемы.

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 20,2 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки в РУ-10 кВ питающей подстанции энергосистемы для защиты и коммутации питающей ТП-10/0,4 кВ, вакуумный выключатель марки номинального напряжения 10 кВ ВВ/TEL-10-20/630-У2-48.

Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов (коммутационных, защитных и регулирующих) с приведением полученных в работе результатов в форме таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ СЭС магазина

Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
Выключатель высокого напряжения	ВВ/TEL-10-20/3600-У2-48
Предохранитель плавкий	ПК103-10-40-31,5/У3
Трансформатор тока	ТПЛ-10
Трансформатор напряжения	НАМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
Выключатель нагрузки	ВНР-10/400-10-У3

«Выбранные типы и марки электрических аппаратов номинальным напряжением 10 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», показаны в графической части работы. Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка современных электрических автоматов марки ВА» [19], которые служат для защиты и коммутации питающей и распределительной электрической сети напряжением 0,38/0,22 кВ объекта проектирования.

В схеме электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», автоматы устанавливаются:

- в шкафах РУ-0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ;
- в шкафах ВРУ-0,4 кВ (ГРЩ);
- в шкафах СРШ (ЩРО, ЩАО).

Автоматы выбираются по условиям, приведённым ниже.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (79)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (80)$$

«Ток уставки электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (81)$$

где « $K_{то}$  – кратность тока отсечки» [19].

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (82)$$

где « $K$  – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

«Выбирается автомат ввода питающей ТП-10/0,4 кВ с расчётным током, равным рабочему току силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, с учётом резервирования» [14]

$$I_{р.} = 1,4 \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (83)$$

$$I_{р.} = 1,4 \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 538,5 \text{ A.}$$

Предварительно выбирается автомат марки ВА 52-39 с  $I_{ном.а} = 630 \text{ A}$  с регулируемым электромагнитным расцепителем, ток уставки которого зависит от тока уставки теплового расцепителя [14] и проводится его проверка.

«Условия выбора и проверок автомата выполняются»

$$I_{ном.а} = 630 \text{ A} \geq I_{р.} = 538,5 \text{ A.}$$

$$I_{у.т.р} = 630 \text{ A} \geq 1,1 \cdot 538,5 = 592,4 \text{ A.}$$

$$I_{у.э.р} = 10 \cdot 630 = 6300 \text{ A} \geq 5090 \text{ A.}$$

«Выбор остальных автоматических выключателей для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» осуществлён аналогично (таблица 9)» [19].

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы»

Линия	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	Марка автомата	$I_{ном.а}$ , А	$I_{у.т.р.}$ , А	$I_{у.э.р.}$ , А
ГРЩ	154,1	237,1	ВА52-37	400	320	960
СРШ1						
Кассовое оборудование	5,05	7,77	ВА47-29-2С10-УХЛ3	10	10	30
Миксер производственный	2,80	4,31	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Смеситель производственный	8,36	12,86	ВА47-29-2С16-УХЛ3	16	16	48
Тельфер электрический	18,42	28,34	ВА47-29-2С32-УХЛ3	32	32	96
Сварочная установка	3,32	5,11	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Бетономешалка	9,72	14,95	ВА47-29-2С25-УХЛ3	25	25	25
Дозатор	1,86	2,86	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Упаковочная машина	10,32	15,88	ВА47-29-2С25-УХЛ3	25	25	25
Автомат ввода к СРШ1	53,7	82,5	ВА 52-31	100	100	300
СРШ2						
Система пож. сигнализации	1,02	1,57	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Система наблюдения	0,51	0,78	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Компьютерная сеть	0,51	0,78	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Испытательный стенд	8,36	12,86	ВА47-29-2С16-УХЛ3	16	16	48
Автомат ввода к СРШ2	9,34	14,4	ВА 52-31	100	25	75
СРШ3						
Тепловые завесы	12,71	19,55	ВА47-29-2С25-УХЛ3	25	25	25
Нагреватели (П1, П2)	50,53	77,74	ВА47-100 2Р 100 А	100	100	300
Вент. системы	8,00	12,31	ВА47-29-2С16-УХЛ3	16	16	48
Кондиционеры	6,28	9,67	ВА47-29-2С16-УХЛ3	16	16	48
Автомат ввода к СРШ3	68,9	105,9	ВА 52-33	160	125	480
СРШ4						
Розетки гостевого зала	6,84	10,52	ВА47-29-2С16-УХЛ3	16	16	48
Бойлер	3,16	4,86	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Полотенцесушитель	0,84	1,29	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Розетки (выдача блюд)	2,95	4,54	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
Розетки	7,37	11,34	ВА47-29-2С16-УХЛ3	16	16	48
Автомат ввода к СРШ4	19,1	29,3	ВА 52-31	100	40	120
ЩРО						
ЩРО	2,98	4,58	ВА47-29-3С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9
ЩАО						
ЩАО	0,30	0,46	ВА47-29-2С6-УХЛ3	6,3	6,3	18,9

Все выбранные автоматы питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ проектируемого магазина «Строительные и отделочные материалы» удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Поэтому они могут быть применены для установки в соответствующем месте проектируемой системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Все выбранные аппараты показаны в графической части работы на схеме электроснабжения силовых потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы» (графический лист 3), а также на схеме электроснабжения осветительных потребителей магазина «Строительные и отделочные материалы» (графический лист 4).

## **2.9 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии**

Выбор системы учёта и контроля электроэнергии является очень важной составляющей любого проектирования электроустановок, так как обеспечивает непосредственный контроль и учёт электроэнергии, лимиты её потребления, контроль параметров потребляемой продукции (электроэнергии), а также ограничение или полное искоренение краж электроэнергии [16].

На питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» учёт и контроль параметров электроэнергии необходимо осуществлять с помощью программно-технических комплексов, которые в последние годы полностью вытеснили устаревшие индукционные и электромагнитные системы, обладающие значительными преимуществами перед ними, состоящие и выражающиеся в простоте, надёжности, компактности, работоспособности и т.д.

Именно поэтому принимается к внедрению в проектируемой системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» «автоматизированная система контроля и управления электроэнергией (далее – АСКУЭ)» [20], выполненная на базе современного электронного счётчика электроэнергии марки Меркурий-234 ARTM-03 РВ.Г 3х230/400В 5(10) А класса точности 0,5s/1,0, который используется в работе и выбран для

установки на питающей ТП-10/0,4 кВ в шкафу учёта, что является современным инновационным решением согласно [20].

Питание АСКУЭ осуществляют трансформаторы тока, через которые в сеть и на выводы АСКУЭ поступает нормированный допустимый рабочий ток системы.

Связь между электронным счётчиком и управляющей компанией (связь «компания – потребитель») осуществляется по мобильному каналу связи либо через интернет-канал.

Во многих случаях используются оба эти источника связи, что позволяет создать условия резервирования.

Кроме того, при мобильной (сотовой) передаче данных, во избежание сбоев, крайне рекомендуется использовать сеть нескольких мобильных операторов.

Сигнал со счётчиков потребителя через каналы связи передаются в центр сбора и обработки данных энергоснабжающей компании, где сигнал принимается, обрабатывается и заносится в соответствующую электронную ячейку на сервере.

Далее идёт сравнение полученных данных с предыдущими показаниями, а также их непосредственный контроль и обработка.

Эту процедуру в системе АСКУЭ выполняет информационно – вычислительный комплекс.

В конечном итоге, после приёма, обработки и систематизации информации со счётчиков АСКУЭ, она добавляется в специальную ячейку или записывается в виде файла для долгосрочного хранения и дальнейшего использования.

Выбранная система АСКУЭ для применения в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» характеризуется надёжностью, экономичностью, точностью, экологичностью и безопасностью, а также удобством эксплуатации [20].

Выбранная и описанная схема учёта и контроля электроэнергии для непосредственного её применения в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» в работе представлена на графическом листе 6.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела, исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, в работе обоснованы и внедрены следующие практические мероприятия по проектированию системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», которая отличается надёжностью, практичностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

- проведены выбор и проверка трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ с учётом питания сторонних потребителей, в результате чего выбраны два силовых трансформатора марки ТМ-250/10, которые также проверены на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются и расчётное значение электрических нагрузок остаётся неизменным и, следовательно, принимается равным значениям, полученным до проведения выбора КУ;

- с учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ТП-10/0,4 кВ, окончательно приняты на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТМ-250/10;



– осуществлён выбор и проверка проводников, в результате чего выбраны для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АСБ-10 (3×16), а для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели, не поддерживающие горения, марки ВВГнг-LS разных сечений;

– выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ для установки их в соответствующих РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ, а также во ВРУ-0,4 кВ (ГРЩ) и СРШ объекта проектирования;

– выбрана и описана современная система учёта и контроля электроэнергии для непосредственного её применения в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Выбор и проверка всего оборудования магазина «Строительные и отделочные материалы» в работе проведены на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания.

## **3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда**

### **3.1 Мероприятия по охране труда**

Далее в работе необходимо провести анализ мероприятий по охране труда при выполнении работ на объекте проектирования, на основе которых разработать и охарактеризовать мероприятия по безопасному проведению работ в электроустановках системы электроснабжения магазина.

Кроме того, необходимо кратко провести описание мероприятий по пожарной безопасности на объекте исследования.

Известно, что перед началом любых работ в электроустановках персонал обязан пройти инструктаж на рабочем месте, в котором указываются как его обязанности, так и обязанности других членов бригады, а также характер и расположение опасностей.

Далее старший (руководитель работ) даёт команду на подготовку рабочего места. Рабочее место подготавливают, как правило, опытные работники с соответствующими группами по электробезопасности (в электроустановках до 1 кВ – не ниже третьей, а в электроустановках выше 1 кВ – не ниже четвёртой группы).

После этого проводятся оперативные переключения и отключения, которые согласовываются с диспетчером сетей.

Затем указателями напряжения соответствующих классов проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях оборудования, где будут проводиться работы.

После этого накладывается переносное заземление на токоведущие части либо включаются заземляющие ножи оборудования (если таковые предусмотрены конструкцией).

Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности.

Только после всех перечисленных мероприятий бригада может приступить к выполнению работ.

В процессе выполнения работ при необходимости можно организовать перерыв, для чего бригада полностью выводится с места работ, а двери электроустановок закрываются на ключ.

Допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;

- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);

- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;

- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и неплановых), так и во время проверок.

Как показывают статистические исследования [19], также для обеспечения пожарной безопасности очень важное значение играет поддержание территории объекта в чистоте.

Для этого необходимо скашивать сухую траву, утилизировать ветошь, поддерживать чистоту на объекте.

Указанные мероприятия позволят не допустить самовозгорание на объекте в сухую жаркую погоду, а также не допустить распространение пожара на объекте и быстро его локализовать.

Внедрение указанных мероприятий обязательно к выполнению.

### 3.2 Мероприятия по охране окружающей среды

При выполнении работ в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», необходимо строго соблюдать мероприятия по нормам экологической безопасности.

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы:

- утечка масла из питающих трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в грунт, а также утечка масла из маслonaполненного оборудования;
- загрязнение септиками и химикатами окружающей среды;
- загрязнение и запылённость воздуха;
- опасность для флоры и фауны;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то:

- проведения организационных мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- техническое обеспечение экологической безопасности;
- профилактические меры по обеспечению экологической безопасности;
- законодательное обеспечение экологической безопасности.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению в систему электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения данного раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Путём проведения анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности.

Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения магазина, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям.

На основании проведённого краткого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Указанные мероприятия по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях, должны быть приняты и внедрены в разработанную систему системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» в обязательном порядке, так как от их внедрения зависит жизнь и здоровье людей, а также охрана флоры и фауны.

## Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» при соблюдении заданных требований к надежности схемы электроснабжения и качеству электроэнергии, передаваемой потребителям.

Для реализации основной цели работы, в работе осуществлено последовательное решение следующих основных поставленных задач:

- приведён исходный анализ системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», с детальным рассмотрением основных технических, экономических и организационных характеристик объекта проектирования;

- рассмотрены и систематизированы по виду производственной деятельности все помещения данного магазина «Строительные и отделочные материалы»;

- детально рассмотрены и систематизированы по назначению все потребители помещений системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом их расположения на территории данного объекта, а также установленной проектной мощности;

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы», которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

- проведены выбор и проверка трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ с учётом питания сторонних потребителей, в результате чего выбраны два силовых трансформатора марки ТМ-250/10, которые также проверены на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ

на питающей ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются;

- с учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ТП-10/0,4 кВ, окончательно приняты на питающей ТП-10/0,4 кВ магазина «Строительные и отделочные материалы» с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТМ-250/10;

- осуществлён выбор и проверка проводников, в результате чего выбраны для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АСБ-10 (3×16), а для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки ВВГнг-LS разных сечений;

- выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ для установки их в соответствующих РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ, а также во ВРУ-0,4 кВ (ГРЩ) и СРЩ объекта проектирования;

- выбрана и описана современная система учёта и контроля электроэнергии для непосредственного её применения в системе электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

- путём проведения анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности;

- на основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы».

Разработанная система электроснабжения магазина «Строительные и отделочные материалы» отличается надёжностью, электробезопасностью, минимумом затрат на обслуживание и ремонт, что позволяет свести межремонтный и эксплуатационный период до минимума, а также повысить показатели энергоэффективности объекта проектирования, его потребителей и всей системы электроснабжения магазина в целом.

## Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интернет Инжиниринг, 2017. 672 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартиформ, 2014. 28 с.
4. Кудрин Б. И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2018. 352 с.
5. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
6. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 2019. 382 с.
8. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. Учеб. пособ. – ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 256 с.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / под общ. ред. В.В. Дрозд. - 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 252 с.



12. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2012.
15. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – М.: Форум, 2018. 142 с.
16. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
17. Copley P. Marketing Communications Management: Concepts and Theories, Cases and Practices. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. 441 p.
18. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Co-authorship. *Scientometrics*, 2020, vol. 85, no. 3, pp. 741–754. doi: 10.1007/s11192-010-0193-9
19. Potter E.H. Branding Canada. Projecting Canada's Soft Power through Public Diplomacy. Montreal: McGill-Queen's University Press, 2019. 464 p.
20. Lezhnyuk P.D., Petrushenko O.J., Petrushenko J.V. Approximation of implicitly expressed optimality criteria by pozynom and analysis of their sensitivity. Materials digest of the XXXIX international Research and Practice Conference «Physico-mathematical and technical sciences as postindustrial foundation of the informational society evolution». London, 2018. P. 23–26.
21. Lezhniuk P., Natrebskiy V., Teptia V., Vydmysh V. Hamilton's Principle as the Method of Self-Optimization Electric Systems. *Nauka i Studia. Przemysl.* 2019. №5 (136). P. 63–69.