

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Обучающийся

Д. В. Верховцев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д. А. Кретов

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

Тольятти 2024

Аннотация

В представленной работе разработан проект системы электроснабжения торгового центра в городе Южно-Сахалинск, учитывающий специфику климатических и топографических условий региона. Проведён подробный анализ исходных данных, включающий изучение климатических и топографических особенностей, характерных для данной местности.

Исходные технические данные для проектирования торгового центра были тщательно проанализированы. Учтены требования к энергоснабжению различных функциональных зон объекта, включая торговые площади, зоны общественного питания, развлекательные комплексы и административные помещения.

Осуществлён выбор оптимальной схемы электроснабжения, проведён расчёт электрических нагрузок с учётом максимальных и пиковых значений потребления электроэнергии, что позволило точно определить необходимые мощности оборудования. Выбраны силовые трансформаторы для питающей трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, обеспечивающие стабильное напряжение и соответствующие требованиям по энергоэффективности. Выбрано конструктивное исполнение питающей трансформаторной подстанции с учётом климатических условий и специфики местности. Проведён выбор и проверка проводников, используемых в системе электроснабжения, с акцентом на их способность выдерживать расчётные токи и обеспечивать минимальные потери энергии. Выполнен расчёт токов короткого замыкания для различных участков сети, что позволило выбрать соответствующие электрические аппараты и настроить системы защиты от перегрузок и аварийных режимов.

Рассмотрены требования по обеспечению безопасности персонала при эксплуатации и обслуживании электротехнического оборудования. Выполнен расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных на проектирование	7
1.1 Характеристика климатических и топографических условий г. Южно-Сахалинск	7
1.2 Исходные технические данные для проектирования торгового центра в г. Южно-Сахалинск	12
1.3 Нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов	16
2 Разработка системы электроснабжения торгового центра с выбором и проверкой оборудования	19
2.1 Выбор схемы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск	19
2.2 Расчёт электрических нагрузок торгового центра	22
2.3 Выбор силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ	27
2.4 Выбор конструктивного исполнения питающей ТП-10/0,4 кВ	29
2.5 Выбор и проверка проводников торгового центра	32
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	38
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	45
3 Разработка мероприятий по охране труда с расчётом контура заземления торгового центра	57
3.1 Мероприятия по охране труда в системе электроснабжения торгового центра	57
3.2 Расчёт контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ торгового центра	60
Заключение	64
Список используемой литературы и используемых источников	67

Введение

Проектирование систем электроснабжения торговых комплексов и центров в Российской Федерации является важной и актуальной задачей, связанной с ростом числа торговых площадок и их энергоёмкостью.

Увеличение потребности в электроэнергии для торговых объектов требует высококачественных и надёжных систем электроснабжения, которые обеспечат бесперебойную работу оборудования, систем освещения и климат-контроля.

Актуальность данной задачи обусловлена не только экономическим развитием и расширением сферы торговли, но и необходимостью повышения энергетической эффективности и снижения эксплуатационных затрат [17].

Перспективы развития систем электроснабжения для торговых объектов связаны с внедрением новых технологий, таких как интеллектуальные системы управления энергопотреблением, а также с использованием возобновляемых источников энергии.

Данные прогрессивные решения позволяют повысить энергоэффективность систем электроснабжения торговых объектов, снизить нагрузку на энергетические сети и минимизировать экологический след. Известно, что в условиях роста требований к энергосбережению и устойчивому развитию, такие подходы становятся всё более целесообразными как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Текущее состояние вопроса в России демонстрирует возрастающую потребность в модернизации существующих систем электроснабжения для торговых объектов.

Многие объекты, особенно в крупных городах, сталкиваются с необходимостью обновления инфраструктуры для соответствия современным стандартам и требованиям к надёжности энергоснабжения. В то же время продолжается активное развитие новых торговых комплексов, что ставит

перед проектировщиками задачи по обеспечению их устойчивой и экономической работы в долгосрочной перспективе.

Помощь государства в этой области заключается в реализации программ поддержки модернизации энергетической инфраструктуры и повышении энергоэффективности, а также в создании благоприятных условий для инвестиций в энергосбережение и использование экологически чистых технологий. Государственная политика стимулирует использование передовых технических решений, что способствует ускоренному внедрению инноваций в проектирование систем электроснабжения для торговых объектов.

В условиях роста числа торговых площадок, повышенных требований к надёжности и энергоэффективности их систем электроснабжения, а также стремления к внедрению современных технологий, такие системы становятся необходимым элементом городской инфраструктуры.

Следовательно, качественное проектирование систем электроснабжения торговых комплексов и центров становится важным фактором их успешного функционирования и долгосрочной конкурентоспособности.

Приведённые аспекты обуславливают актуальность настоящей работы, основной целью которой заключается в разработке мероприятий, способных привести к созданию качественной, надёжной и безопасной системы электроснабжения нового торгового центра комплексного типа в г. Южно-Сахалинск Сахалинской области [20].

Объектом исследования в работе является система электроснабжения нового проектируемого торгового центра комплексного типа в г. Южно-Сахалинск Сахалинской области.

Предметом исследования в работе выступают технические показатели объекта исследования (надёжность, бесперебойность электроснабжения), а также экономические показатели (экономичность проекта) и показатели безопасности проекта (охрана труда, электробезопасность, пожарная безопасность).

Для решения поставленных задач, проводится подробный анализ исходных данных, включающий изучение климатических и топографических особенностей, характерных для данной местности.

Осуществляется выбор оптимальной схемы электроснабжения, проведён расчёт электрических нагрузок с учётом максимальных и пиковых значений потребления электроэнергии, что позволило точно определить необходимые мощности оборудования. Выбираются силовые трансформаторы для питающей трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, обеспечивающие стабильное напряжение и соответствующие требованиям по энергоэффективности. Выбирается конструктивное исполнение питающей трансформаторной подстанции с учётом климатических условий и специфики местности. Проводится выбор и проверка проводников, используемых в системе электроснабжения, с акцентом на их способность выдерживать расчётные токи и обеспечивать минимальные потери энергии. Выполняется расчёт токов короткого замыкания для различных участков сети, что позволило выбрать соответствующие электрические аппараты и настроить системы защиты от перегрузок и аварийных режимов.

Рассматриваются требования по обеспечению безопасности персонала при эксплуатации и обслуживании электротехнического оборудования. Выполняется расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции.

Результаты работы представляют собой комплексное решение по проектированию системы электроснабжения торгового центра в сложных климатических условиях Южно-Сахалинска. Применение современных технических решений и соблюдение нормативных требований обеспечивает надёжность, безопасность и эффективность энергоснабжения объекта, что способствует его успешной эксплуатации и удовлетворению потребностей посетителей и персонала. Все предлагаемые в работе мероприятия по проектированию торгового центра в г. Южно-Сахалинск Сахалинской области планируется подтвердить на основании полученных результатов расчётов.

1 Анализ исходных данных на проектирование

1.1 Характеристика климатических и топографических условий г. Южно-Сахалинск

С целью выбора оборудования и сетей по климатическому исполнению, а также рациональной канализации электроэнергии, проводится анализ климатических и топографических условий в месте сооружения торгового центра в г. Южно-Сахалинск.

Проектируемый торговый центр планируется соорудить на окраине г. Южно-Сахалинск Сахалинской области (на въезде в город с трассы А-392) [5].

Такое расположение является удобным и практичным с точки зрения транспортной развязки, находясь в непосредственной близости к городской застройке.

Кроме того, охраняемых и рекреационных зон в месте сооружения объекта не предусмотрено.

План расположения проектируемого торгового центра на карте местности г. Южно-Сахалинск Сахалинской области (показан красным кружком), представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – План расположения проектируемого торгового центра на карте местности (место расположения торгового центра показано красным кружком)

Далее рассматриваются климатические и топографические условия местности, в которой планируется соорудить данный торговый центр. Все данные взяты из [5].

Южно-Сахалинск, расположенный на острове Сахалин, характеризуется умеренно-муссонным климатом, который проявляется в ярко выраженной сезонной изменчивости. Зимой на территорию города оказывают значительное влияние холодные воздушные массы, приводящие к низким температурам и обильным снегопадам. Средняя температура зимних месяцев составляет около минус 10 °С, однако из-за ветров с Охотского моря ощущение холода может быть значительно сильнее. Лето относительно тёплое, с преобладанием влажных воздушных масс, что приводит к умеренным температурам, в среднем около +18°С, и высокой влажности. Осадки распределены относительно равномерно в течение года, но наибольшее их количество выпадает в летние и осенние месяцы из-за муссонов и влияния циклонов, приходящих с Тихого океана. Особенностью климата Южно-Сахалинска является длительная снежная зима и короткое, но тёплое лето. Климат региона оказывает влияние на все аспекты жизни и деятельности, включая экономику, транспорт и инфраструктуру города.

Климатический график Южно-Сахалинска, в окрестностях которого планируется соорудить данный торговый центр, представлен на рисунке 2 [5].

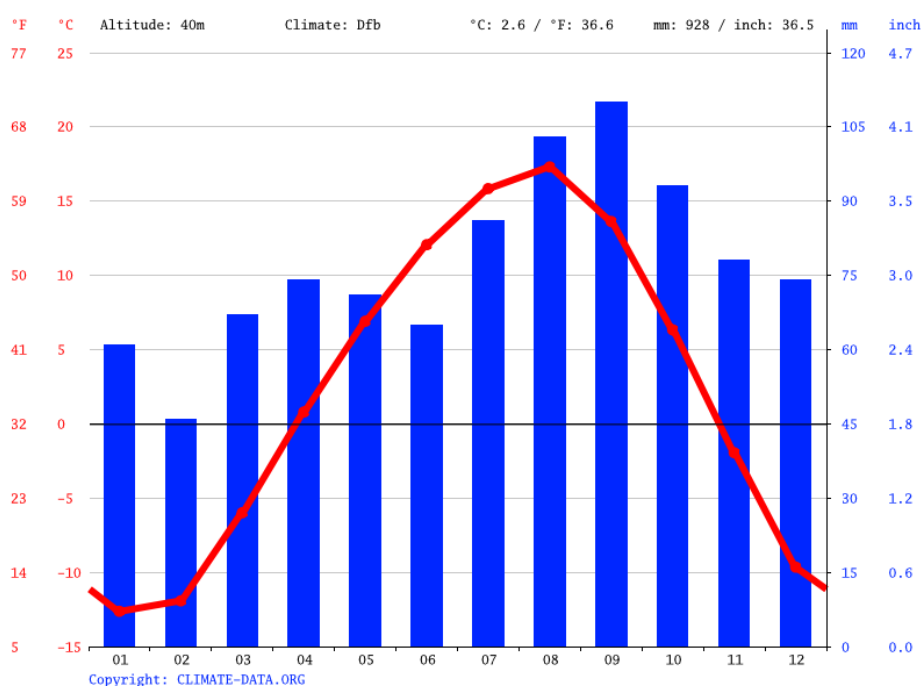


Рисунок 2 – Климатический график Южно-Сахалинска

Температурный график Южно-Сахалинска, в окрестностях которого планируется соорудить данный торговый центр, представлен на рисунке 3 [5].

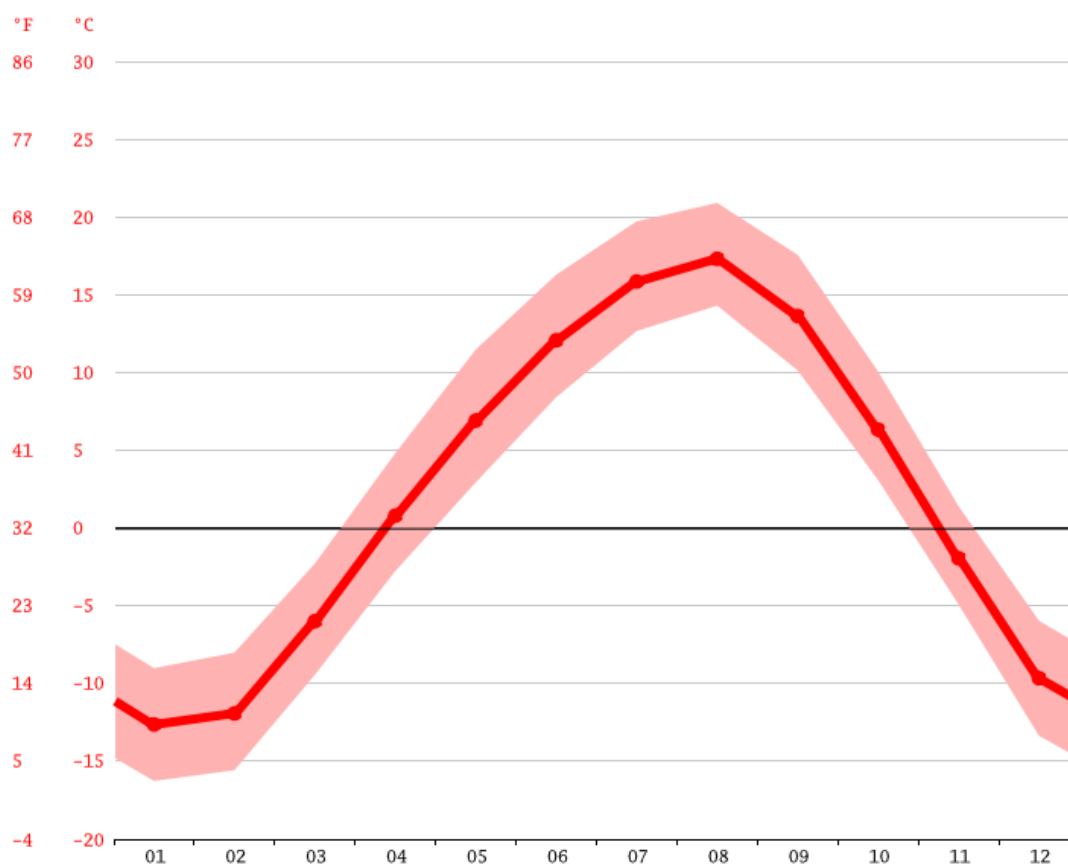


Рисунок 3 – Температурный график Южно-Сахалинска

Условия в Южно-Сахалинске по грозам и гололёдообразованию связаны с его расположением в зоне умеренно-муссонного климата и влиянием морских воздушных масс. Грозовая активность в регионе наблюдается преимущественно в летние месяцы, но её частота и интенсивность значительно ниже по сравнению с континентальными регионами России. Данное явление обусловлено тем, что островное расположение и близость моря сглаживают температурные контрасты, способствующие возникновению гроз. В среднем за год фиксируется незначительное количество грозовых дней.

Гололёдообразование в Южно-Сахалинске является более значительным климатическим фактором, особенно в осенне-зимний и весенний периоды. Чередование положительных и отрицательных температур

в сочетании с высокой влажностью часто приводит к образованию гололёда на дорогах, электросетях и объектах инфраструктуры. Особенно активны процессы гололёдообразования при влиянии циклонов, приходящих с Тихого океана, что усложняет эксплуатацию транспортной и энергетической инфраструктуры. Гололёд и наледи создают серьёзные риски для безопасности движения и требуют постоянных усилий по их устранению.

Ветровой режим в Южно-Сахалинске определяется его островным положением и влиянием окружающих водных масс, что приводит к значительной изменчивости направления и скорости ветра в течение года. Преобладающими ветрами являются северо-западные и западные направления, особенно в зимний период, когда холодные воздушные массы с материка встречаются с тёплыми водами Охотского моря. Зимой ветер в регионе может достигать значительной силы, что усиливает ощущение холода и приводит к метелям и снежным заносам. Летний период характеризуется сменой ветрового режима с преобладанием юго-восточных и восточных ветров, которые приносят тёплые и влажные воздушные массы с Тихого океана, что способствует формированию муссонного характера климата.

Ветровая активность наиболее выражена в межсезонье, когда частые циклоны и антициклоны влияют на погодные условия. Скорость ветра в зимние месяцы может превышать 10-12 м/с, в то время как летом она обычно не превышает 5-7 м/с. Ветровой режим оказывает значительное влияние на климатические условия города, а также на эксплуатацию транспортной и энергетической инфраструктуры

Топографические условия Южно-Сахалинска характеризуются сложным рельефом, обусловленным его расположением на острове Сахалин в окружении горных хребтов и равнинных территорий. Город находится в центральной части острова, в непосредственной близости к Сусунайскому хребту, который формирует гористую местность с высотами до 1000 метров над уровнем моря. Городская территория простирается в межгорной долине, что создаёт условия для разнообразного рельефа с чередованием холмистых

участков и равнин. Река Сусуя, протекающая через город, также влияет на формирование топографии, образуя пойменные участки и низменности, которые используются в сельском хозяйстве и строительстве.

Топографические условия играют важную роль в климате города, влияя на распределение осадков, ветровой режим и температурные колебания. Горы, окружающие Южно-Сахалинск, создают барьер для холодных воздушных масс, что несколько смягчает климатические условия, особенно зимой. Однако в межгорных долинах часто скапливаются холодные массы воздуха, что приводит к температурным инверсиям и усилению морозов. Сложный рельеф также требует особого подхода к проектированию инфраструктуры и транспортных сетей, учитывая возможность возникновения оползней и других геодинамических процессов. В месте сооружения проектируемого торгового центра преобладает равнинная местность (рисунок 1), поэтому сглаживать рельеф не требуется.

Приведённые климатические и топографические условия необходимо учесть при выборе рационального оборудования (по климатическим характеристикам) и трассы сетей объекта проектирования.

1.2 Исходные технические данные для проектирования торгового центра в г. Южно-Сахалинск

«Основными потребителями проектируемого торгового центра в г. Южно-Сахалинск являются:

- станция технического обслуживания и ремонта автомобилей;
- системы жизнеобеспечения торгового центра;
- пиццерия с кафе и магазином;
- спортивно – развлекательный комплекс;
- пекарня с магазином;
- продовольственный супермаркет;
- непродовольственный супермаркет;

– торговые площади, сдающиеся в аренду» [16].

Проектируемый торговый центр в городе Южно-Сахалинск включает в себя разнообразные объекты, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию. Приводится краткое описание данных объектов.

Одним из объектов торгового центра является станция технического обслуживания и ремонта автомобилей. Данная станция представляет собой специализированный комплекс для диагностики, технического обслуживания и ремонта автотранспорта, что позволяет удовлетворять потребности автомобилистов в поддержании транспортных средств в надлежащем состоянии.

Системы жизнеобеспечения торгового центра играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы здания. Такие современные системы включают в себя электроснабжение, водоснабжение, вентиляцию, отопление, а также системы противопожарной защиты и безопасности, что обеспечивает комфортные и безопасные условия для пребывания сотрудников и посетителей.

Пиццерия с кафе и магазином обеспечивает общественное питание и предлагает широкий ассортимент блюд итальянской кухни, в частности пиццу, а также другие продукты и напитки. Пиццерия становится популярным среди посетителей, обеспечивая не только еду, но и приятное место для отдыха. Спортивно-развлекательный комплекс предназначен для активного отдыха и развлечений. Пекарня с магазином является объектом, где производится свежая выпечка и хлебобулочные изделия. Пекарня удовлетворяет потребности посетителей в свежих продуктах питания и предлагает разнообразные изделия как для индивидуального потребления, так и для приобретения на вынос.

Продовольственный супермаркет играет ключевую роль в обеспечении посетителей широким ассортиментом продуктов питания. Здесь можно приобрести различные продукты: от свежих овощей и фруктов до замороженных и готовых к употреблению продуктов. Он является крупным

торговым объектом, способным удовлетворить потребности в продуктах питания для больших потоков покупателей.

Непродовольственный супермаркет предоставляет товары, не относящиеся к продуктам питания. К таким товарам относятся бытовая техника, одежда, товары для дома, а также различные предметы повседневного использования. Супермаркет способствует удовлетворению широкого спектра потребностей посетителей торгового центра в товарах повседневного спроса.

Таким образом, проектируемый торговый центр в Южно-Сахалинске объединяет разнообразные объекты, от станций технического обслуживания до продовольственных и непродовольственных супермаркетов. Каждая составляющая имеет свое назначение, создавая условия для удовлетворения различных потребностей посетителей. Объекты, такие как пекарня, пиццерия и арендуемые торговые площади, дополняют функционал центра, обеспечивая его multifunctionality и удобство.

Исходные технические данные объектов торгового центра в г. Южно-Сахалинск представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные объектов торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Наименование потребителя	Номер по плану	$P_{ном.}$, кВт	S, м ²	Расположение
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	1	171,0	864	Подвальное помещение
Системы жизнеобеспечения торгового центра	2	277,0	144	Подвальное помещение
Пиццерия с кафе и магазином	3	156,0	180	Первый этаж
Спортивно – развлекательный комплекс	4	123,0	168	Первый этаж
Пекарня с магазином	5	375,0	180	Первый этаж
Продовольственный супермаркет	6	274,0	504	Первый этаж
Непродовольственный супермаркет	7	115,0	216	Первый этаж
Торговые площади	8	46,0	252	Первый этаж
Всего	-	1537	2508	-

Как видно из приведённых данных таблицы 1, в торговом центре площадью 2508 м² планируется разместить восемь объектов, суммарная активная нагрузка которых равна 1537 кВт.

Все перечисленные объекты планируется расположить в подвальном помещении и на первом этаже торгового центра.

План расположения указанного оборудования проектируемого торгового центра в г. Южно-Сахалинск представлен на рисунке 4.

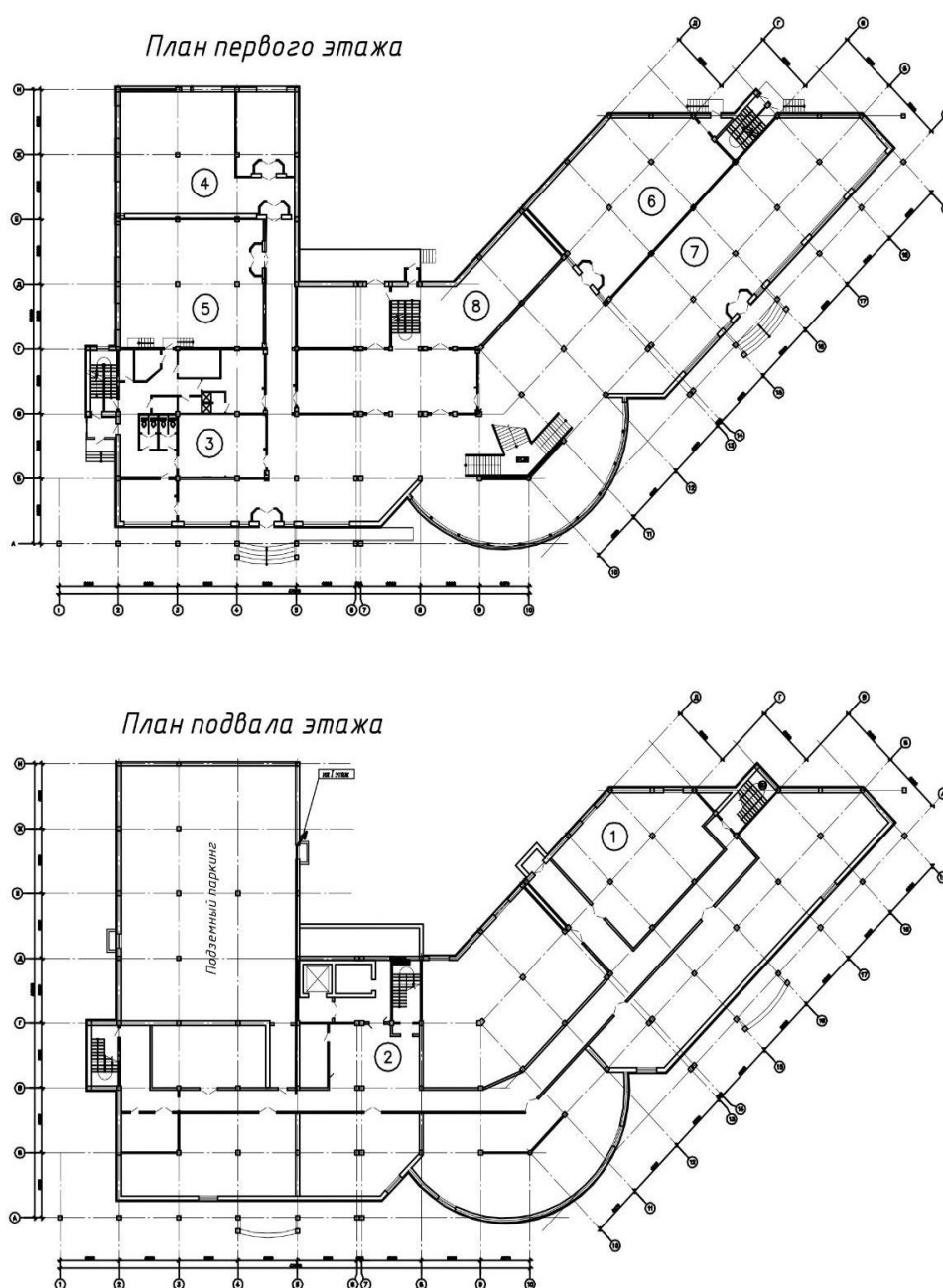


Рисунок 4 – План расположения оборудования торгового центра в г. Южно-Сахалинск

На основе предоставленных исходных данных, требуемых для разработки торгового центра в городе Южно-Сахалинске, в дальнейшем рассматриваются и решаются ключевые задачи проекта. Особое внимание при этом уделяется обеспечению надёжности, экономичности и безопасности проектируемой системы электроснабжения объекта.

1.3 Нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов

Нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов устанавливают требования, направленные на обеспечение надежного, безопасного и эффективного энергоснабжения.

При проектировании учитываются как основные функциональные характеристики здания, так и особенности энергопотребления каждого объекта. Важное значение имеет классификация объектов по категориям электроснабжения, что позволяет определить уровень резервирования и защиты от возможных сбоев в подаче электроэнергии [11].

Основы классификации потребителей электроэнергии по категориям надёжности представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Основы классификации потребителей электроэнергии по категориям надёжности

Ключевым требованием для систем электроснабжения любых типов является обеспечение их бесперебойной и надёжной работы. Для достижения указанной цели используется высококачественное оборудование, резервирование источников питания и автоматизированные системы переключения в аварийных ситуациях.

Кроме того, надёжность системы ЭС должна гарантировать минимальные перерывы в электроснабжении, строго соответствуя установленным нормативам. Выполнение указанного условия обеспечивается за счёт правильной конфигурации электрической сети на стадии проектирования, применения резервных источников питания, автоматических систем ввода резерва (ABP), а также использования надёжных компонентов.

Основной задачей при рассмотрении параметров надёжности является обеспечение непрерывности и бесперебойности электроснабжения в соответствии с потребностями различных систем здания, включая освещение, системы отопления, вентиляции, кондиционирования и технологическое оборудование. При этом для питания потребителей различных категорий надёжности используются различные принципы резервирования, как показано в работе на рисунке 6.

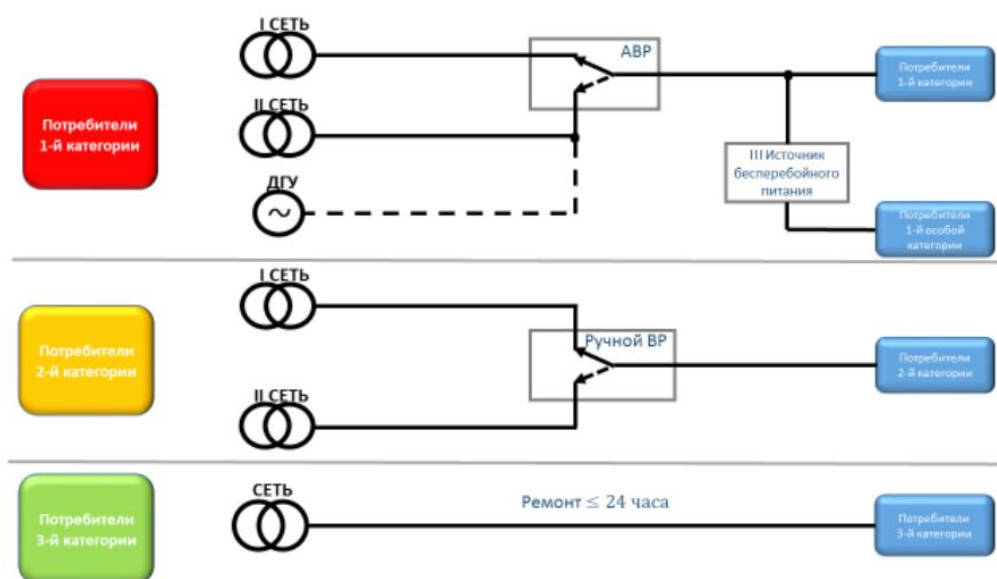


Рисунок 6 – Принципы резервирования при обеспечении питания потребителей различных категорий надёжности

Проектирование также должно учитывать возможные пиковые нагрузки и обеспечить их устойчивое распределение. Применение энергосберегающих технологий и использование возобновляемых источников энергии также становятся неотъемлемой частью современных требований к проектированию.

Особое внимание уделяется безопасности эксплуатации системы. Выполнение данного условия включает мероприятия по защите от коротких замыканий, перегрузок и перенапряжений, а также обязательное внедрение систем автоматического отключения питания в случае аварийных ситуаций. Также нормами предусмотрена необходимость установки резервных источников электропитания для объектов, критически зависящих от бесперебойного электроснабжения.

Таким образом, проектирование систем электроснабжения гражданских объектов (включая проектируемую систему ЭС торгового центра), должно осуществляться с учетом действующих стандартов и норм, что гарантирует соответствие всех решений современным требованиям к энергоэффективности, безопасности и надежности энергоснабжения.

Выводы по разделу.

В рамках проектирования определено, что в торговом центре планируется разместить восемь различных объектов, общая активная нагрузка которых составляет 1537 кВт.

Все объекты будут расположены в подвальном и первом этажах здания.

Для создания надёжной и эффективной системы электроснабжения проведён анализ и выделены основные требования и действующие нормы по проектированию систем электроснабжения общественных гражданских объектов.

2 Разработка системы электроснабжения торгового центра с выбором и проверкой оборудования

2.1 Выбор схемы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Ранее было показано, что проектируемый торговый центр в г. Южно-Сахалинск относится ко II категории надёжности. В связи с этим, в его схеме электроснабжения должны быть соблюдены следующие условия [11]:

- питание объекта должно осуществляться от двух независимых источников;
- в схеме должно быть предусмотрено резервирование на всех звеньях электрической сети.

Кроме того, так как торговый центр будет расположен в городской застройке, канализация электроэнергии должна осуществляться изолированными проводниками, обеспечивающими безопасность населения [9]. В связи с этими нормами, далее в работе проводится выбор надёжной и рациональной схемы электроснабжения торгового центра.

На стороне 10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ рекомендуется использовать схему «Одна секционированная система сборных шин». От распределительного устройства 10 кВ (далее – РУ-10 кВ) ТП-10/0,4 кВ получают питание два силовых трансформатора 10/0,4 кВ.

На стороне 0,38/0,22 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ также применяется схема «Одна секционированная система сборных шин». От неё получают питание потребители торгового центра на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Принятая на сторонах 10 кВ и 0,4 кВ питающей сети схема электрических соединений «Одна секционированная система сборных шин» обладает рядом значительных преимуществ.

Основным преимуществом данной схемы является её высокая надёжность и гибкость в управлении. Разделение секции сборных шин с

помощью выключателя позволяет эффективно контролировать потоки электроэнергии и проводить техническое обслуживание без необходимости полного отключения подстанции. Наличие данного факта особенно важно для обеспечения бесперебойного электроснабжения, поскольку одна секция может продолжать функционировать, пока другая отключена для проведения ремонта или проверки. Таким образом, схема подстанции обеспечивает необходимые условия для резервирования электроэнергии.

Данная схема способствует увеличению селективности системы защиты. Разделение системы шин на секции позволяет более точно локализовать отключение в случае аварии, что уменьшает риск полного отключения электроснабжения и минимизирует последствия аварийных ситуаций. Этот фактор, в свою очередь, повышает общую устойчивость и надёжность энергосистемы.

Экономическая эффективность такой схемы также имеет значительное значение.

Установка системы сборных шин с секционированием требует меньших затрат по сравнению с более сложными вариантами, так как уменьшается количество необходимого оборудования, а его стоимость существенно сокращается.

При этом схема обеспечивает достаточную функциональность и надёжность для большинства понизительных подстанций, что делает её экономически целесообразным решением.

Система «Одна, секционированная выключателем, система сборных шин» является оптимальным выбором для подстанций, где важны надёжность, гибкость эксплуатации и экономическая эффективность.

Поэтому её применение на ТП-10/0,4 кВ проектируемого торгового центра является обоснованным.

Принятая схема электрических соединений питающей подстанции 10/0,4 кВ торгового центра представлена на рисунке 7.

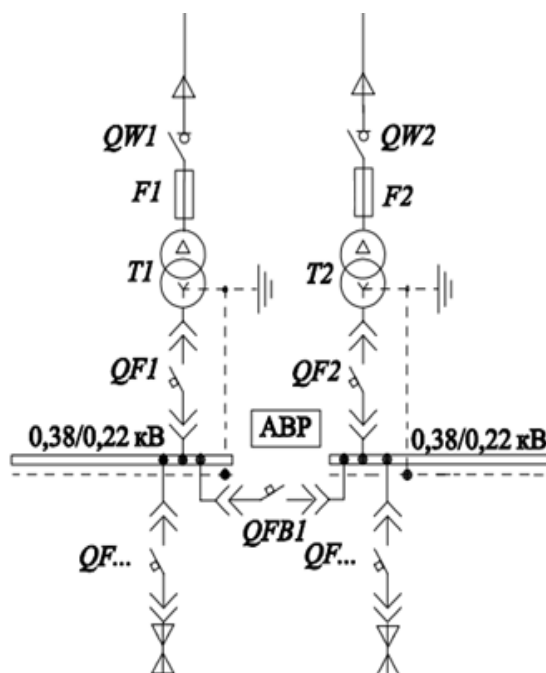


Рисунок 7 – Принятая схема электрических соединений питающей подстанции 10/0,4 кВ торгового центра

Согласно принятой схеме, в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ предполагается установить следующие коммутационные и защитные аппараты:

- выключатели нагрузки – 2 единицы;
- предохранители плавкие марки – 2 единицы.

Кроме того, в двух ячейках на питающем РП-10 кВ энергосистемы Сахалинской области, откуда получает питание рассматриваемая ТП-10/0,4 кВ, необходимо установить следующие электрические аппараты:

- высоковольтные выключатели – 2 единицы;
- трансформаторы тока – 2 единицы на 2 присоединения (всего – 4 единицы);
- ограничители перенапряжения – 3 единицы на 2 присоединения (всего – 6 единиц).

На стороне 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ и в распределительной сети 0,38/0,22 кВ предлагается установить автоматические выключатели. Для канализации электроэнергии на напряжении 0,38/0,22 кВ предлагается использовать силовые кабельные линии при скрытой прокладке (с применением радиальной схемы).

2.2 Расчёт электрических нагрузок торгового центра

Известно, что расчёт электрических нагрузок в системе электроснабжения торгового центра является важным этапом проектирования, который позволяет определить необходимую мощность и обеспечить надёжное функционирование всех объектов комплекса.

Процесс расчёта включает анализ активных и реактивных нагрузок, характерных для каждого помещения и оборудования.

Зная их, определяется значение полных расчётных нагрузок, а также расчётного тока.

При расчёте суммарных нагрузок торгового центра учитывается суммарное потребление электроэнергии всех основных потребителей объекта исследования.

Особое внимание уделяется учёту пиковых нагрузок, возникающих в часы максимальной активности торгового центра.

Такие периоды требуют точного определения необходимой мощности, чтобы избежать перегрузок в системе и обеспечить бесперебойное электроснабжение.

Для этого проводится расчет с учётом коэффициентов спроса и одновременности работы оборудования, а также резервирования источников питания.

Расчёт электрических нагрузок в работе проводится согласно следующему алгоритму:

- расчёт нагрузок на вводах 0,38/0,22 кВ распределительной сети основных объектов;
- расчёт нагрузок освещения объектов и наружного освещения;
- расчёт суммарных нагрузок торгового центра.

«Значение расчётной активной электрической нагрузки на вводе объектов проектируемого торгового центра, кВт» [6]:

$$P_{p.} = P_{уст.} \cdot K_o, \quad (1)$$

где « $P_{уст.}$ – установленная проектная активная нагрузка объекта, кВт;
 K_o – коэффициент одновременности» [6].

«Расчетная реактивная нагрузка объектов проектируемого торгового центра, квар» [6]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot tg\varphi_o, \quad (2)$$

где « $tg\varphi_o$. – коэффициент реактивной мощности» [6].

«Полная расчетная нагрузка объектов проектируемого торгового центра, кВА» [6]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (3)$$

Расчёт электрических нагрузок объектов торгового центра в работе проводится на примере станции технического обслуживания и ремонта автомобилей:

$$P_p = 171 \cdot 1 = 171 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p.} = 171 \cdot 0,27 = 45,6 \text{ квар.}$$

$$S_{p.o.3.2} = \sqrt{171^2 + 45,6^2} = 176,7 \text{ кВА.}$$

Результаты расчёта силовых нагрузок на вводе 0,38/0,22 кВ отдельных объектов, а также суммарной нагрузки торгового центра в г. Южно-Сахалинск, показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта силовых нагрузок на вводе 0,38/0,22 кВ отдельных объектов торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Наименование потребителя	$P_{уст}$, кВт	$tg \varphi$	$P_{p.}$, кВт	$Q_{p.}$, квар	$S_{p.}$, кВА
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	171,0	0,27	171,0	45,6	176,7
Системы жизнеобеспечения торгового центра	277,0	0,32	277,0	89,4	290,7
Пиццерия с кафе и магазином	156,0	0,32	156,0	49,4	163,5
Спортивно – развлекательный комплекс	123,0	0,26	123,0	32,3	127,4
Пекарня с магазином	375,0	0,62	375,0	232,5	441,2
Продовольственный супермаркет	274,0	0,32	274,0	88,9	287,9
Непродовольственный супермаркет	115,0	0,62	115,0	71,3	135,3
Торговые площади, сдающиеся в аренду	46,0	0,20	46,0	9,2	46,9
Всего по торговому центру	1537,0	-	1537,0	618,6	1669,6

«Значение активной расчетной нагрузки наружного освещения торгового центра, кВт» [15]:

$$P_{p.y.o.} = \sum_{i=1}^n P_{уд.y.o.i} \cdot l_i, кВт, \quad (4)$$

где « $P_{уд.y.o.i}$ – удельная активная нагрузка i -ого объекта, кВт/км;

l_i – суммарная длина i -ой здания, км» [15].

$$P_{p.y.o.} = 37,5 \cdot (0,5 + 0,84) + 10 \cdot (0,5 + 0,84) = 63,7 кВт.$$

«Значение активной расчетной электрической нагрузки внутреннего освещения торгового центра, кВт» [15]:

$$P_{p.вн.} = P_{уд.вн.} \cdot F, кВт, \quad (5)$$

где « $P_{уд.вн.}$ – нормируемое значение удельной активной нагрузки

внутреннего освещения проектируемого торгового центра, кВт/га;

F – суммарная площадь торгового центра, га» [16].

$$P_{p.вн.} = 0,6 \cdot 42 = 25,2 кВт.$$

«Значение суммарной расчетной активной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения торгового центра, кВт» [15]:

$$P_{p.o.тк} = P_{p.y.o.} + P_{p.вн.}, \quad (6)$$

$$P_{p.o.тк} = 63,7 + 25,2 = 88,9 \text{ кВт}.$$

«Значение суммарной расчетной реактивной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения торгового центра, квар» [15]:

$$Q_{p.o.тк} = P_{p.y.o.} \cdot \text{tg}\varphi_{y.o.} + P_{p.вн.} \cdot \text{tg}\varphi_{вн.}, \quad (7)$$

где $\text{tg}\varphi_{y.o.}$ и $\text{tg}\varphi_{вн.кв.}$ – «соответственно, коэффициенты мощности наружного и внутреннего освещения» [15].

$$Q_{p.o.тк} = 63,7 \cdot 0,328 + 25,2 \cdot 0,328 = 29,2 \text{ квар}.$$

«Значение суммарной полной реактивной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения торгового центра, кВА» [15]:

$$S_{p.o.тк} = \sqrt{P_{p.o.тк}^2 + Q_{p.o.тк}^2}, \quad (8)$$

$$S_{p.o.тк} = \sqrt{88,9^2 + 29,2^2} = 93,6 \text{ кВА}.$$

«Суммарная активная электрическая нагрузка торгового центра, кВт» [13]:

$$P_{тк} = P_{p.max} + \sum_1^{n_i} k_{yi} \cdot P_{p.i}, \quad (9)$$

где « $P_{p.max}$ – максимальная электрическая нагрузка потребителей, кВт;
 $K_{y.i}$ – коэффициент несовпадения максимумов» [13].

«Суммарная реактивная электрическая нагрузка торгового центра, квар»
[13]:

$$Q_{mk} = P_{p.max} \cdot tg\varphi + \sum_1^n k_{y.i} \cdot (P_{кв.i} \cdot tg\varphi_{кв.i} + k'_{с.i} \cdot P_{л.i} \cdot tg\varphi_{л.i}). \quad (10)$$

«Суммарная активная нагрузка торгового центра с учётом освещения, кВт» [13]:

$$P_{p.mk} = P_{p.max} + \sum k_{y.i} \cdot P_{p.i} + k_{y.осв.} \cdot (P_{p.y.o.} + P_{p.вн.}), \quad (11)$$

где « $P_{p.max}$ – максимальное значение из группы расчетных нагрузок, кВт;
 $P_{p.i}$ – значение расчетной нагрузки i -го объекта, кВт;
 $k_{y.i}$ – коэффициент участия i -го объекта в максимуме нагрузок» [13].

$$P_{p.mk} = 375 + (171 \cdot 0,5 + 156 \cdot 0,5 + 123 \cdot 0,5 + 277 \cdot 0,5 + 274 \cdot 0,5 + 115 \cdot 0,5 + 46 \cdot 0,5) + 188,9 = 907,1 \text{ кВт}.$$

«Суммарная реактивная нагрузка торгового центра с учётом освещения, квар» [13]:

$$Q_{p.mk} = P_{p.max} \cdot tg\varphi + \sum k_{y.i} \cdot P_{p.i} \cdot tg\varphi_i + k_{y.осв.} \cdot P_{осв} \cdot tg\varphi_{осв}, \quad (12)$$

$$Q_{p.mk} = 375 \cdot 0,62 + (171 \cdot 0,5 \cdot 0,27 + 156 \cdot 0,5 \cdot 0,32 + 123 \cdot 0,5 \cdot 0,26 + 277 \cdot 0,5 \cdot 0,32 + 274 \cdot 0,5 \cdot 0,32 + 115 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 46 \cdot 0,5 \cdot 0,2) + 188,9 \cdot 0,328 = 254,8 \text{ квар},$$

«Суммарная полная нагрузка торгового центра с учётом освещения, кВА» [13]:

$$S_{p.mk} = \sqrt{P_{p.mk}^2 + Q_{p.mk}^2}, \quad (13)$$

$$S_{p.тк.} = \sqrt{907,1^2 + 254,8^2} = 942,3 \text{ кВА}.$$

Были получены следующие основные результаты:

- суммарная силовая нагрузка потребителей торгового центра: активная нагрузка $P_{p.} = 1537,0$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p.} = 618,6$ квар, полная нагрузка $S_{p.} = 1669,6$ кВА;
- суммарная нагрузка освещения торгового центра: активная нагрузка $P_{p.} = 88,9$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p.} = 23,2$ квар, полная нагрузка $S_{p.} = 93,6$ кВА;
- суммарная расчётная нагрузка торгового центра (с учётом силовой и осветительной нагрузки): активная нагрузка $P_{p.} = 907,1$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p.} = 254,8$ квар, полная нагрузка $S_{p.} = 942,3$ кВА.

2.3 Выбор силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ

«Мощность трансформатора ТП-10/0,4 кВ торгового центра» [7]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{P_{p.}}{N\beta_t}, \quad (14)$$

где « $S_{ном.т.}$ – номинальная мощность силового трансформатора, кВА;

$S_{ном.т.р}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА;

$P_{p.}$ – суммарная активная нагрузка, кВт;

N – количество силовых трансформаторов, шт;

β_t – нормируемый коэффициент загрузки трансформатора, о.е.» [7].

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ торгового центра» [7]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{907,1}{2 \cdot 0,8} = 566,9 \text{ кВА}.$$

«Для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск выбираются два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10» [8].

Проводятся проверки выбранного типа и мощности трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, с акцентом на их способность выдерживать нагрузки нормального и перегрузки аварийного режимов.

Известно, что оценка перегрузочной способности трансформаторов подстанции является важнейшим элементом эксплуатации и гарантий надёжности.

Данный процесс направлен на определение того, насколько силовой трансформатор способен выдерживать нагрузки, превышающие его номинальные параметры в послеаварийных режимах работы, сохраняя при этом свои эксплуатационные характеристики и предотвращая риск повреждений.

В ходе эксплуатации силовые трансформаторы подстанций испытывают значительные электрические и тепловые нагрузки, что может привести к повреждениям обмоток и других критически важных компонентов.

Регулярное проведение проверок на нагрузочную и перегрузочную способности необходимо для обеспечения надёжной и безопасной работы системы электроснабжения торгового центра, а также для снижения вероятности аварий и увеличения срока службы оборудования.

Загрузка каждого трансформатора ТП-10/0,4 кВ в нормальном режиме определяется по известному выражению и не должна превышать значения 0,8 для питания потребителей II категории надёжности [7]:

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (15)$$

Условия данной проверки выполняются:

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot 942,3}{630} = 0,75 \leq 0,8.$$

Загрузка каждого трансформатора ТП-10/0,4 кВ в послеаварийном режиме определяется по известному выражению и не должна превышать значения 1,6 [7]:

$$K_3^{n.av} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6, \quad (16)$$

$$K_3^{n.av} = \frac{942,3}{630} \approx 1,5 \leq 1,6.$$

Исходя из полученных результатов установлено, что для питания нагрузки потребителей необходимо применить 2 трансформатора марки ТМГ-630/10.

Определено, что данные силовые трансформаторы способны обеспечить стабильное и надёжное питание нагрузки потребителей торгового центра как в нормальном, так и в послеаварийном режимах работы без ущерба для системы охлаждения.

2.4 Выбор конструктивного исполнения питающей ТП-10/0,4 кВ

«Согласно принятым ранее решениям, на питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск обоснована установка двух силовых трансформаторов марки ТМГ-630/10 кВ.

Конструкция данного типа трансформаторов, выбранных для применения на питающей ТП-10/0,4 кВ торгового центра» [18], представлена на рисунке 8.

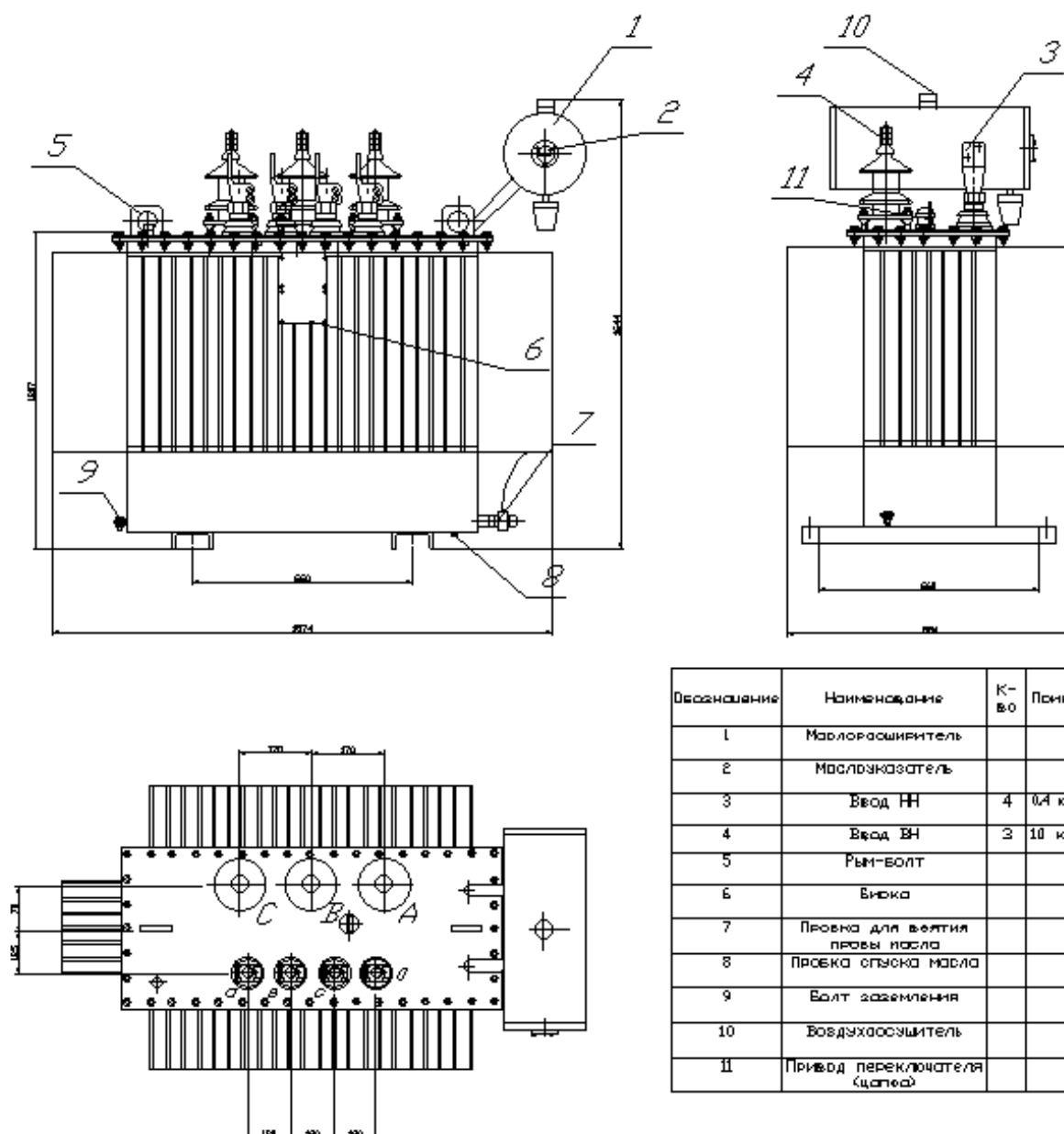


Рисунок 8 – Конструкция трансформаторов марки ТМГ-630/10, выбранных для применения на питающей ТП-10/0,4 кВ торгового центра

Предполагается конструктивно выполнить ТП-10/0,4 кВ в виде блочной комплектной трансформаторной подстанции в бетонной оболочке 10/0,4 кВ (БКТПБ-10/0,4 кВ).

Учитывая выбранную мощность и тип силовых трансформаторов (ТМГ-630/10), предлагается к установке на объекте проектирования подстанция типа БКТП 630/10/0,4 кВ [1].

Определено, что подстанции данного типа являются современными и высокоэффективными.

Такая модификация трансформаторной подстанции обладает рядом значимых преимуществ, что делает её востребованной в различных эксплуатационных условиях.

Одним из ключевых достоинств является высокая степень защиты и долговечность благодаря бетонной оболочке.

Данная конструкция обеспечивает надёжную защиту внутренних компонентов подстанции от негативных внешних факторов, таких как механические повреждения, воздействие окружающей среды и коррозия, что значительно продлевает срок службы оборудования и сокращает затраты на его обслуживание [10].

Также подстанции данного типа выделяются компактностью и модульностью, что облегчает их транспортировку, установку и интеграцию в существующую инфраструктуру.

Небольшие размеры и возможность быстрого монтажа делают их идеальными для использования в условиях плотной застройки или на ограниченных территориях.

Модульный подход позволяет настраивать конфигурацию подстанции под конкретные потребности проекта, обеспечивая гибкость и эффективность в эксплуатации.

Высокий уровень безопасности является ещё одним значимым преимуществом блочных комплектных трансформаторных подстанций.

Бетонная оболочка не только защищает оборудование от внешних факторов, но и снижает риск возгораний, что особенно важно при эксплуатации в условиях повышенной опасности.

Внутреннее устройство и применение современных релейных систем защиты и автоматики обеспечивают надёжную и безопасную работу подстанции в различных режимах.

Кроме того, энергетическая эффективность блочных комплектных трансформаторных подстанций также заслуживает внимания.

Оптимизированная компоновка оборудования, современные трансформаторы и распределительные устройства способствуют снижению потерь энергии при её передаче и распределении.

Данный фактор повышает общую эффективность системы электроснабжения и уменьшает эксплуатационные расходы [10].

Таким образом, выбранная подстанция типа БКТП 630/10/0,4 кВ представляет собой современное и эффективное решение, обеспечивающее надёжную, безопасную и долговечную эксплуатацию, что делает её подходящей для использования на ТП-10/0,4 кВ торгового центра.

Конструктивное выполнение выбранного типа подстанции представлено в графической части работы.

2.5 Выбор и проверка проводников торгового центра

Как было указано ранее, проектируемый торговый центр планируется разместить в городской застройке в г. Южно-Сахалинск, поэтому необходимо предусмотреть скрытую канализацию проводников сетей всех классов напряжения.

По этой причине все проводники в системе электроснабжения торгового центра принимаются в виде кабельных силовых линий.

Таким образом, в соответствии с принятой схемой электроснабжения торгового центра, в ходе проектирования требуется произвести выбор и проверку следующих проводников при следующих условиях их канализации:

- «сечения кабельной линии напряжением 10 кВ, соединяющей РП-10 кВ с РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ (принимается прокладка в траншее);
- сечения кабельной линии напряжением 0,4 кВ, которая соединяет РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ с ВРУ-0,4 кВ (принимается прокладка в железобетонных унифицированных лотках)» [18].

«По экономической плотности тока» [4]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}, \quad (17)$$

где $I_{p.}$ - «значение расчётного тока кабельной линии в нормальном режиме на стороне 10 кВ» [18];

« $j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [4].

«Значение расчётного тока кабельной линии в нормальном режиме на стороне 10 кВ принимается равным току на стороне ТП-10/0,4 кВ» [18]:

$$I_{p.} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (18)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ - «номинальная мощность трансформатора ТП-10/0,4 кВ, который питает кабельная линия, кВА» [4].

«Для питающего кабеля 10 кВ торгового центра» [4]:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Сечение питающего кабеля 10 кВ торгового центра:

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,4} = 26,0 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результатов расчёта кабельной линии 10 кВ, принимаются для питания ТП-10/0,4 кВ современные кабели на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами марки АПвПГ-10 (3×50) ООО «Камский кабель» с длительно-допустимой токовой нагрузкой 175 А при прокладке в земле [3].

Современные кабели на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами марки АПвПГ-10, производимые ООО «Камский кабель», обладают рядом существенных преимуществ, которые делают их востребованными в различных областях электроснабжения.

Одним из ключевых достоинств является высокая стойкость к внешним воздействиям, включая механические повреждения, температурные колебания и воздействие влаги.

Использование изоляции из сшитого полиэтилена обеспечивает надёжную защиту проводящих жил, что увеличивает срок службы кабеля и улучшает его эксплуатационные характеристики.

Алюминиевые жилы делают кабель более лёгким и экономичным по сравнению с медными аналогами, при этом сохраняя достаточную проводимость для работы на высоких напряжениях.

Кроме того, данный тип кабеля отличается повышенной устойчивостью к перегрузкам и коротким замыканиям, что повышает общую надёжность системы электроснабжения.

Современные материалы и технологии производства способствуют снижению потерь энергии при передаче электричества, что положительно сказывается на энергетической эффективности всей системы.

Экологическая безопасность также играет важную роль, так как сшитый полиэтилен является материалом, устойчивым к старению и воздействию химических веществ, что минимизирует риск утечек и других аварийных ситуаций.

Благодаря своим характеристикам, кабели АПвПГ-10 являются оптимальным выбором для применения в системах среднего напряжения, обеспечивая стабильное и безопасное электроснабжение в условиях различных эксплуатационных сред.

Таким образом, выбор данной марки кабеля обоснован.

«Проверка выбранного сечения кабеля в нормальном режиме» [19]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (19)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток кабельной линии (справочные данные, зависящие от марки кабеля и сечения его жил, а также от типа изоляции, А [3].

Для питающего кабеля 10 кВ торгового центра проверка выполнена:

$$175 \text{ А} \geq 36,4 \text{ А}.$$

«Проверка кабельной линии в послеаварийном режиме работы» [19]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (20)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – максимальный расчётный ток послеаварийного режима (при питании торгового центра по одному кабелю, А [19].

Ток кабельной линии в послеаварийном режиме:

$$I_{p.\text{max}} = K_p \cdot I_p, \quad (21)$$

где K_p – коэффициент резервирования (с учётом существующего резервирования для потребителей 2 категории надёжности, принимается значение $K_p = 1,4$) [11].

Для питающего кабеля 10 кВ торгового центра проверка выполнена:

$$175 \text{ А} \geq 36,4 \cdot 1,4 = 50,96 \text{ А}.$$

«Проверка кабеля по механическим условиям» [19]:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

Для питающего кабеля 10 кВ данная проверка выполнена:

$$50 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, применение двух силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами марки АПвПГ-10 (3×50) ООО «Камский кабель» с длительно-допустимой токовой нагрузкой 175 А при прокладке в земле, рекомендуемых для питания системы электроснабжения торгового центра на напряжении 10 кВ, обосновано.

Для сети 0,38/0,22 кВ торгового центра выбираются новейшие кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвВГ [2], имеющим аналогичные преимущества, которые были описаны выше для выбранного кабеля с аналогичной изоляцией питающей сети 10 кВ ТП-10/0,4 кВ.

При этом каждый потребитель получает питание от двух силовых кабелей, получающих питание от различных секций сборных шин 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, следовательно, на каждую из двух питающих кабелей приходится половина полной расчётной нагрузки.

Таким образом, расчётная нагрузка каждого силового кабеля линии питающей сети 0,38/0,22 кВ в нормальном режиме:

$$S_{\kappa} = \frac{S_p}{2}, \quad (23)$$

где S_p - полная расчётная нагрузка объекта, который питает кабельная линия, кВА.

Выбор остальных кабельных линий системы электроснабжения объекта проектирования показан в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора сечения силовых кабелей

Наименование потребителя	Расчётная нагрузка		Расчётный ток		Марка кабеля	$I_{доп}$, А
	$S_{л.}$, кВА	$S_{к.}$, кВА	I_p , А	$I_{p.max}$, А		
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	176,7	88,35	135,9	190,3	АПВВГ (4×70)	201,0
Системы жизнеобеспечения торгового центра	290,7	145,35	223,6	313,1	АПВВГ (4×150)	315,0
Пиццерия с кафе и магазином	163,5	81,75	125,8	176,1	АПВВГ (4×70)	201,0
Спортивно – развлекательный комплекс	127,4	63,70	98,0	137,2	АПВВГ (4×50)	166,0
Пекарня с магазином	441,2	220,60	339,4	475,1	2АПВВГ (4×95)	2×240
Продовольственный супермаркет	287,9	143,95	221,5	310,0	АПВВГ (4×150)	315,0
Непродовольственный супермаркет	135,3	67,65	104,1	145,7	АПВВГ (4×50)	166,0
Торговые площади, сдающиеся в аренду	46,9	23,45	36,1	50,5	АПВВГ (4×10)	67,0

Таким образом, в результате выбора проводников в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск, были приняты и обоснованы следующие решения:

- для питания ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ на напряжении 10 кВ выбраны и проверены современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами марки АПВПГ-10 (3×50) ООО «Камский кабель» с длительно-допустимой токовой нагрузкой 175 А при прокладке в земле;
- для канализации электроэнергии в питающей сети 0,38/0,22 кВ объекта проектирования были выбраны и проверены следующие кабельные линии: одна силовая линия с двумя кабелями марки АПВВГ (4×10), две силовые линии с двумя кабелями марки АПВВГ (4×50), две силовые линии с двумя кабелями марки АПВВГ (4×70), две силовые линии с двумя кабелями марки АПВВГ (4×150), а также одна силовая линия с четырьмя кабелями марки АПВВГ (4×95).

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Токи короткого замыкания (КЗ) определяются для различных точек системы, включая все классы напряжения, что позволяет выбрать и проверить оборудование, способное выдерживать аварийные режимы.

Такие расчёты дают возможность определить максимальные значения токов при замыкании фаз и принять необходимые меры для их ограничения.

Основной задачей является выбор и проверка защитных устройств, которые оперативно реагируют на возникновение короткого замыкания, предотвращая повреждения оборудования вследствие значительного увеличения токов в сети.

В процессе расчётов учитываются параметры электрических сетей, такие как сопротивление трансформаторов, сопротивление и длина кабелей, а также мощность источников питания и прочие параметры, оказывающие влияние на величину токов замыкания.

Особое внимание уделяется проверке устойчивости электрических аппаратов и кабелей к токам короткого замыкания, а также подбору релейной защиты для обеспечения селективного отключения.

Данный фактор помогает предотвратить повреждения и способствует быстрому восстановлению электроснабжения после аварийных ситуаций.

Все расчёты выполняются в строгом соответствии с нормативными требованиями и стандартами, что гарантирует безопасность и надёжность системы электроснабжения торгового центра.

Расчёт токов короткого замыкания также играет ключевую роль в обеспечении электробезопасности персонала, обслуживающего систему электроснабжения.

Определение величин токов позволяет подобрать соответствующие средства защиты и разработать меры предосторожности, которые предотвращают травматизм и защищают здоровье работников в случае аварий.

В условиях современного производства, где безопасность труда и надёжность оборудования имеют первостепенное значение, эта мера становится особенно важной.

Кроме того, расчёт токов короткого замыкания способствует оптимизации экономических затрат на эксплуатацию системы электроснабжения.

Правильный подбор оборудования, рассчитанного на возможные максимальные токи, позволяет существенно снизить расходы на ремонт и замену повреждённых компонентов, а также увеличить срок службы электротехнических устройств.

В условиях необходимости повышения энергоэффективности систем электроснабжения, данный аспект становится важным для обеспечения устойчивого развития предприятия.

Таким образом, проведение расчётов токов короткого замыкания в системе электроснабжения торгового центра не только гарантирует надёжность и безопасность работы, но и способствует оптимизации производственных процессов, снижению затрат и повышению эффективности использования энергетических ресурсов.

Данный процесс является важной частью комплексного подхода к управлению и развитию энергетических систем на промышленных предприятиях.

На начальном этапе необходимо составить расчётную схему электрической сети для определения токов короткого замыкания.

В ней обозначаются основные расчётные точки, где нужно провести расчёт максимальных токов в послеаварийном режиме.

В таком режиме питание трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ будет осуществляться по одной линии 10 кВ от РП-10 кВ энергосистемы Сахалинской области.

«Схема для расчёта токов короткого замыкания на выводах трансформатора ТП-10/0,4 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск» [12] представлена в работе на рисунке 9.

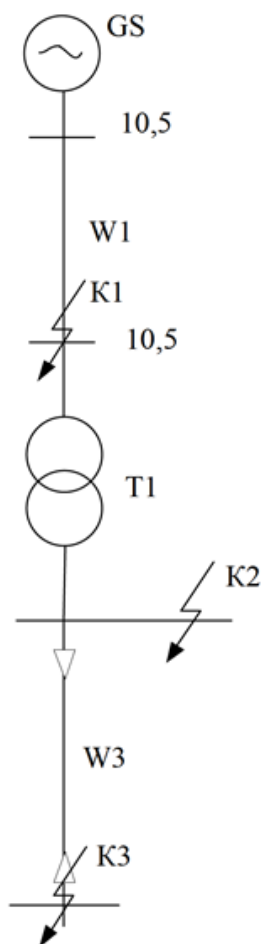


Рисунок 9 – Схема для расчёта токов КЗ

«Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ на выводах трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск» [12] представлена на рисунке 10.

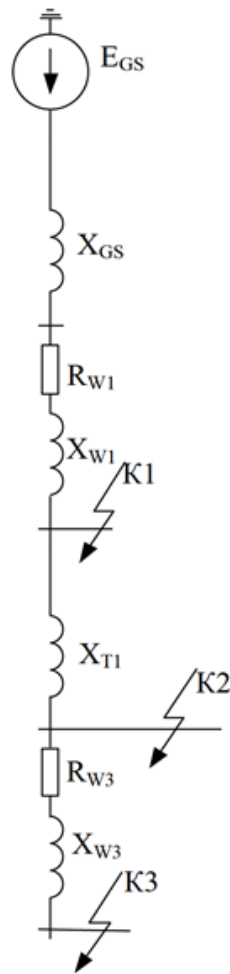


Рисунок 10 – Эквивалентная схема замещения

«Базисный ток» [12]:

$$I_B = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (24)$$

$$I_{B.BH} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,03 \text{ кА},$$

$$I_{B.BH} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,91 \text{ кА}.$$

«Индуктивное сопротивление кабельной линии» [12]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_B^2}. \quad (25)$$

«Активное сопротивление кабельной линии» [12]:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y0.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (26)$$

«Для кабельной линии W1 – 10 кВ» [12]:

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,007 \text{ o.e.},$$

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,008 \text{ o.e.}$$

«Аналогично для кабельной линии W3» [12]:

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,053 \text{ o.e.},$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,366 \text{ o.e.}$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора ТП-10/0,4 кВ» [12]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}, \quad (27)$$

где $U_{K.3.}$ - напряжение короткого замыкания силового трансформатора,
%;

$S_{H.T}$ - номинальная мощность силового трансформатора, МВА.

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525 \text{ o.e.}$$

При этом все сопротивления в эквивалентной схеме соединены последовательно, следовательно, их эквивалентное сопротивление равняется сумме соответствующих сопротивлений к расчётным точкам КЗ.

«Ток трёхфазного КЗ» [12]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (28)$$

«Расчёт эквивалентных сопротивлений и токов трёхфазных КЗ» [12] на выводах трансформатора ТП-10/0,4 кВ в расчётных точках К1-К3:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}, \quad (29)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,007)^2 + 0,008^2} = 0,014 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa1}^{(3)} = \frac{1}{0,014} \cdot 0,03 = 2,14 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}, \quad (30)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,007 + 0,0525)^2 + 0,008^2} = 0,068 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{1}{0,068} \cdot 0,91 = 13,38 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}, \quad (31)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,007 + 0,0525 + 0,053)^2 + (0,008 + 0,366)^2} = 0,698 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa3}^{(3)} = \frac{1}{0,698} \cdot 0,91 = 1,31 \text{ кА}.$$

Ударный ток трёхфазного короткого замыкания представляет собой максимальное значение тока, которое возникает в первые мгновения после возникновения аварии в электрической системе. Ударный ток характеризуется резким и кратковременным скачком амплитуды, обусловленным инерционными явлениями и электромагнитными процессами в цепи.

Определение величины ударного тока необходимо для выбора оборудования, способного выдерживать такие токи без повреждений по условиям термической и динамической устойчивости, а также для расчёта систем защиты, предотвращающих распространение аварий и минимизирующих последствия короткого замыкания.

«Ударный ток тока трёхфазного КЗ» [12]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (32)$$

где « $K_{y\partial}$ – ударный коэффициент» [12].

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётных точках эквивалентной схемы» [12]:

$$I_{y\partial.\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,14 = 4,24 \text{ кА},$$

$$I_{y\partial.\kappa2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 13,38 = 18,92 \text{ кА},$$

$$I_{y\partial.\kappa3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,31 = 1,85 \text{ кА}.$$

«Расчет токов двухфазного короткого замыкания» [12]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (33)$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,14 = 1,85 \text{ кА},$$

$$I_{\kappa2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13,38 = 11,59 \text{ кА},$$

$$I_{\kappa3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,31 = 1,13 \text{ кА}.$$

Все полученные результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов токов КЗ

Точка КЗ	U _Б , кВ	I _Б , кА	Z _Σ	K _{уд}	I ⁽³⁾ , кА	I ⁽²⁾ , кА	I _{уд} , кА
K1	10,5	0,03	0,014	1,40	2,14	1,85	4,24
K2	0,4	0,91	0,068	1,00	13,38	11,59	18,92
K3	0,4	0,91	0,698	1,00	1,31	1,13	1,85

В результате проведения расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск, получены следующие основные результаты:

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме на выводах 10 кВ силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ $I^{(3)} = 2,14$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 1,85$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 4,24$ кА;
- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме на выводах 0,4 кВ силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ $I^{(3)} = 13,38$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 11,59$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 18,92$ кА;
- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в распределительной сети 0,38/0,22 кВ $I^{(3)} = 1,31$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 1,13$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 1,85$ кА.

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Согласно принятой схеме, на стороне 10 кВ подстанции в ячейках РУ-10 кВ предполагается установить следующие коммутационные и защитные аппараты:

- выключатели нагрузки – 2 единицы;
- предохранители плавкие марки – 2 единицы.

Кроме того, в двух ячейках на питающем РП-10 кВ энергосистемы Сахалинской области, откуда получает питание рассматриваемая ТП-10/0,4

кВ, необходимо установить следующие электрические аппараты:

- высоковольтные выключатели – 2 единицы;
- трансформаторы тока – 2 единицы на 2 присоединения (всего – 4 единицы);
- ограничители перенапряжения – 3 единицы на 2 присоединения (всего – 6 единиц).

На стороне 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ и в распределительной сети 0,38/0,22 кВ предлагается установить автоматические выключатели.

Все перечисленные аппараты необходимо выбрать и проверить в работе на соответствие расчётным параметрам электрической сети.

«Выбор выключателей высокого напряжения проводится по номинальным параметрам напряжения и рабочего тока» [8]:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (34)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (35)$$

«Проверка выключателя на симметричный ток отключения» [8]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (36)$$

«Проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [8]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откл.н} (1 + \beta_n), \quad (37)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}. \quad (38)$$

«Проверка на электродинамическую устойчивость» [8]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (39)$$

«Проверка на термическую стойкость по тепловому импульсу» [8]:

$$B_K \leq I_T^2 t_T, \quad (40)$$

$$B_K = I_K^2 (t_{отк} + T_a). \quad (41)$$

«Для установки в ячейках питающего РП-10 кВ выбираются высоковольтные выключатели марки LF1-10,5-12,5/630-У2-41» [8].

Такие выключатели обеспечивают надёжное отключение электрических цепей при коротких замыканиях и перегрузках, что повышает безопасность эксплуатации.

Высокая долговечность и устойчивость к внешним воздействиям позволяют использовать их в различных климатических условиях.

Компактные размеры и простота обслуживания делают данные выключатели удобными в эксплуатации, а применение современных технологий увеличивает их эффективность и надёжность.

«Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки в ячейках питающего РП-10 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск» [8] представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора и проверки выключателей

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
Выключатели высокого напряжения марки LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,14 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,24 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 48 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,14^2 \cdot 3 = 13,74 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 48^2 \cdot 3 = 6912 \text{ кА}^2 \text{ с.}$

«Результаты выбора и проверки измерительных трансформаторов тока для установки в ячейках питающего РП-10 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск» [8] представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки измерительных трансформаторов тока

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.1.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном.1.} = 200 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 10 \text{ ВА}$	$S_{обм.ном} = 50 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,24 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,14^2 \cdot 3 = 13,74 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Ограничители перенапряжения (ОПН) играют ключевую роль в защите электротехнического оборудования от перенапряжений, которые могут возникать вследствие атмосферных разрядов, таких как молнии, или при выполнении коммутационных операций.

ОПН эффективно снижают амплитуду перенапряжений до безопасного уровня.

«Результаты выбора и проверки ограничителей перенапряжения для установки в ячейках питающего РП-10 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск» [8] представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки ограничителей перенапряжения

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
ОПНп-10/11,5/10/550 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 550 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{макс.проп.}$	$I_{н.т} = 2,14 \text{ кА.}$	$I_{макс.проп.} = 11,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,24 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 10 \text{ кА.}$

Кроме того, также требуется выбор и проверка высоковольтных аппаратов напряжением 10 кВ, установленных непосредственно на ТП-10/0,4 кВ.

«Результаты проверки выключателей нагрузки для установки в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск представлены» [8] в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты проверки выключателей нагрузки для установки в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели нагрузки ВНПу-10/400-10-УЗ	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 400 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,24 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,14^2 \cdot 3 = 13,74 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с.}$

Результаты выбора и проверки плавких предохранителей, необходимых для защиты РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск от токов короткого замыкания, сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты проверки плавких предохранителей

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Предохранители марки ПКТ103-10-80-20У1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$1,1 - 1,5 I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5 I_{ном.т} = 1,5 \times 36,4 = 54,6 \text{ А.}$	$I_{ном.вст} = 80 \text{ А.}$
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 80 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,14^2 \cdot 3 = 13,74 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с.}$

В рамках работы для защиты сети 0,38/0,22 кВ выбираются автоматические воздушные выключатели марки ВА.

Современные модели этих выключателей оснащены различными типами расцепителей, такими как электромагнитные, тепловые и нулевые, что обеспечивает многоуровневую защиту сети.

Необходимо выбрать оптимальные уставки для всех расцепителей, учитывая технические характеристики и параметры сети.

При выборе автоматических выключателей важно учитывать все рекомендуемые технические параметры для обеспечения долговечности и надёжной работы оборудования в условиях эксплуатации.

Правильный выбор и настройка уставок расцепителей играют ключевую роль в повышении устойчивости и стабильности системы электроснабжения, снижении риска аварий и продлении срока службы оборудования.

Процесс выбора автоматов проводится в соответствии с методикой, изложенной в источнике [18].

Номинальный ток автомата [18]:

$$I_{ном.а} \geq I_{р.}, \quad (42)$$

где $I_{ном.а}$ - номинальный ток автомата, А;

$I_{р.}$ - расчётный ток сети, по которому выбирается автомат, А.

Тепловые расцепители, встроенные в автоматы серии ВА, реагируют на перегрузки в сети, обеспечивая защиту оборудования от продолжительного воздействия повышенных токов. Возможность регулировки таких расцепителей позволяет адаптировать их под конкретные параметры потребителей, что особенно важно при переменных нагрузках, часто встречающихся в системах электроснабжения различного типа, что помогает снизить риск перегрева и повреждений оборудования, продлевая его эксплуатационный срок [10].

«Номинальный ток уставки теплового расцепителя» [18]:

$$I_{y.m.p} \geq [1,05 - 1,1] \cdot I_p, \quad (43)$$

где $I_{y.m.p}$ - номинальный ток уставки теплового расцепителя, А.

Электромагнитные расцепители предназначены для защиты от коротких замыканий. Регулировка уставок позволяет обеспечить быстрое и точное срабатывание при аварийных ситуациях, предотвращая серьёзные повреждения сети и оборудования.

Такая настройка повышает общую устойчивость и стабильность работы системы электроснабжения, что имеет особую важность в условиях, где требуется высокая надёжность и непрерывность производственных процессов.

Номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя автомата [18]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (44)$$

где $K_{то}$ – коэффициент тепловой отсечки автомата (указывается заводом-изготовителем), о.е.;

I_k - значение трёхфазного симметричного тока КЗ в расчётной точке сети 0,4 кВ, ближайшей к выбираемому автомату, А.

«Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем» [18]:

$$I_{y.э.р} \geq K \cdot I_{y.m.p}, \quad (45)$$

где K – «кратность тока уставки» [18] расцепителя.

Проверка проводится на примере вводного автомата ТП-10/0,4 кВ.

По условию (42):

$$1600 A \geq 1356,9 A.$$

По условию (43):

$$1600 A \geq 1356,9 \cdot 1,1 = 1492,6 A.$$

По условию (45):

$$4800 A = 3 \cdot 1600 = 4800 A.$$

Таким образом, в качестве вводного автомата ТП-10/0,4 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск, проверочным расчётом был окончательно подтверждён автомат марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 1600 A$, $I_{у.т.р.} = 1600 A$, $I_{у.э.р.} = 4800 A$ [14].

Для всех остальных присоединений системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск также выбираются автоматы серии ВА с регулируемыми расцепителями.

Результаты выбора и проверки автоматов в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки автоматов в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Потребитель	I_p, A	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$
Вводные автоматы	1356,9	ВА55-43	1600	1600	4800
Секционный автомат	1356,9	ВА55-43	1600	1600	4800
Линейные автоматы питающей сети 0,38/0,22 кВ					
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	241,6	ВА 52-35	250	400	1200
Системы жизнеобеспечения	397,5	ВА 52-39	630	630	1890
Пиццерия	223,6	ВА 52-35	250	250	750
Спортивно – развлекательный комплекс	174,3	ВА 52-35	250	250	750
Пекарня с магазином	603,5	ВА 52-39	630	630	1890
Продовольственный супермаркет	393,8	ВА 52-39	630	500	1500
Непродовольственный супермаркет	185,1	ВА 52-35	250	250	750
Торговые площади, сдающиеся в аренду	64,1	ВА 52-35	100	100	300

Для защиты ВРУ-0,4 кВ потребителей на напряжении 0,38/0,22 кВ применяются плавкие предохранители серии ПН-2.

«Основным элементов предохранителя является калиброванная стандартная плавкая вставка, выбор тока уставки которой, I_{ϵ} , А» [18]:

$$I_{\epsilon} \geq I_{p.}^H, \quad (46)$$

где « $I_{p.}^H$ – ток нормального режима, А» [4].

«Проверка вставки в послеаварийном режиме работы, А» [18]:

$$I_{\epsilon} \geq I_p^{наб} / k, \quad (47)$$

где « k – коэффициент отстройки» [18].

«Проверка патрона по отключающей способности, А» [18]:

$$I_{пр.откл} \geq I_{к2}^{//}, \quad (48)$$

где « $I_{пр.откл}$ – предельный отключающий ток предохранителя, кА» [4].

«Проводится выбор и проверка предохранителей к станции технического обслуживания и ремонта автомобилей торгового центра» [18].

$$\begin{aligned} 200 \text{ А} &> 134,3 \text{ А}, \\ 200 \text{ А} &> \frac{241,6}{1,4} = 172,6 \text{ А}, \\ 40 \text{ кА} &> 14,79 \text{ кА}. \end{aligned}$$

«Выбирается предохранитель марки ПН2-250 с $I_{пр} = 250 \text{ А}$ и $I_{\epsilon} = 200 \text{ А}$ для ВРУ объекта.

Выбор предохранителей представлен в таблице 11» [4].

Таблица 11 – Выбор низковольтных предохранителей для установки во ВРУ потребителей проектируемого торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Потребитель	$I_{p.}^H$, А	$I_{p.}^{нав}$, А	I_{Σ} , А	$I_{np.}$, А	Марка
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	134,3	241,6	200	250	ПН2-250
Системы жизнеобеспечения торгового центра	220,9	397,5	315	400	ПН2-250
Пиццерия с кафе и магазином	124,3	223,6	160	250	ПН2-250
Спортивно – развлекательный комплекс	96,8	174,3	125	250	ПН2-250
Пекарня с магазином	335,2	603,5	500	630	ПН2-250
Продовольственный супермаркет	218,8	393,8	315	400	ПН2-250
Непродовольственный супермаркет	102,9	185,1	160	250	ПН2-250
Торговые площади, сдающиеся в аренду	35,7	64,1	50	100	ПН2-250

Все выбранные аппараты показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

При расчёте электрических нагрузок системы электроснабжения торгового центра, были получены следующие основные результаты:

- суммарная силовая нагрузка потребителей торгового центра: активная нагрузка $P_{p.} = 1537,0$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p.} = 618,6$ квар, полная нагрузка $S_{p.} = 1669,6$ кВА;
- суммарная нагрузка освещения торгового центра: активная нагрузка $P_{p.} = 88,9$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p.} = 23,2$ квар, полная нагрузка $S_{p.} = 93,6$ кВА;
- суммарная расчётная нагрузка торгового центра (с учётом силовой и осветительной нагрузки): активная нагрузка $P_{p.} = 907,1$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p.} = 254,8$ квар, полная нагрузка $S_{p.} = 942,3$ кВА.

Исходя из полученных результатов установлено, что для питания нагрузки потребителей необходимо применить 2 трансформатора марки ТМГ-630/10.

Определено, что данные силовые трансформаторы способны обеспечить стабильное и надёжное питание нагрузки потребителей торгового центра как в нормальном, так и в послеаварийном режимах работы без ущерба для системы охлаждения.

Определено, что выбранная подстанция типа БКТП 630/10/0,4 кВ представляет собой современное и эффективное решение, обеспечивающее надёжную, безопасную и долговечную эксплуатацию, что делает её подходящей для использования на ТП-10/0,4 кВ торгового центра.

В результате выбора проводников в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск, были приняты и обоснованы следующие решения:

- для питания ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ на напряжении 10 кВ выбраны и проверены современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами марки АПвПГ-10 (3×50) ООО «Камский кабель» с длительно-допустимой токовой нагрузкой 175 А при прокладке в земле;
- для канализации электроэнергии в питающей сети 0,38/0,22 кВ объекта проектирования были выбраны и проверены следующие кабельные линии: одна силовая линия с двумя кабелями марки АПвВГ (4×10), две силовые линии с двумя кабелями марки АПвВГ (4×50), две силовые линии с двумя кабелями марки АПвВГ (4×70), две силовые линии с двумя кабелями марки АПвВГ (4×150), а также одна силовая линия с четырьмя кабелями марки АПвВГ (4×95).

В результате проведения расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск, получены следующие основные результаты:

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме на выводах 10 кВ силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ $I^{(3)} = 2,14$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 1,85$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 4,24$ кА;
- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме на выводах 0,4 кВ силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ $I^{(3)} = 13,38$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 11,59$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 18,92$ кА;

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в распределительной сети 0,38/0,22 кВ $I^{(3)} = 1,31$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 1,13$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 1,85$ кА.

Расчётным путём выбраны и подтверждены электрические аппараты в сети 10 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск (на стороне 10 кВ в ячейках РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ и в ячейках 10 кВ питающего РП-10 кВ энергосистемы Сахалинской области).

В результате проведения расчётов, выбраны, проверены и подтверждены следующие автоматические выключатели в сети 0,38/0,22 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск:

- для защиты и коммутации питающей ТП-10/0,4 кВ: выключатели автоматические вводные и секционный, марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 1600$ А; $I_{у.т.р.} = 1600$ А; $I_{у.э.р.} = 4800$ А;
- для защиты и коммутации питающей сети 0,38/0,22 кВ: выключатели автоматические линейные марки ВА различных типономиналов (ВА52-35 и ВА 52-39 на номинальные токи 630 А, 250 А и 100 А);
- для защиты и коммутации распределительной сети 0,38/0,22 кВ: плавкие предохранители марки ПН2-100, ПН2-250 и ПН2-400, установленные во ВРУ-0,4 кВ объектов торгового центра.

Все выбранные аппараты напряжением 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск показаны также в графической части работы.

3 Разработка мероприятий по охране труда с расчётом контура заземления торгового центра

3.1 Мероприятия по охране труда в системе электроснабжения торгового центра

«Проводится выбор мероприятий по охране труда и технике безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск. Используются материалы» [9].

Обеспечение безопасности труда в системе электроснабжения торгового центра является важным аспектом для предотвращения травматизма и создания безопасных условий для работников.

Для этого требуется строгое соблюдение нормативных требований и стандартов охраны труда, которые включают организацию безопасного рабочего пространства и контроль за техническим состоянием оборудования.

«Мероприятия по обеспечению безопасности труда при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск» [9] представлены на рисунке 11.

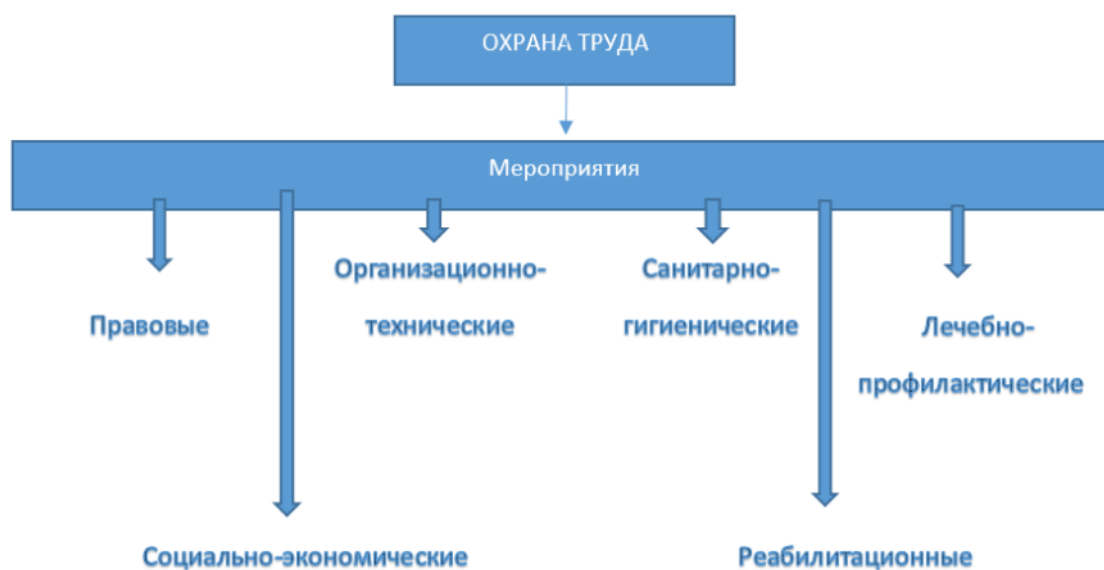


Рисунок 11 – Мероприятия по обеспечению безопасности труда при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск

Важно обеспечить персонал всеми необходимыми средствами индивидуальной защиты, такими как изолирующие перчатки, специальные обувь и одежду, а также инструменты, соответствующие требованиям электробезопасности.

Одним из ключевых моментов является регулярное обучение и проверка знаний сотрудников по вопросам охраны труда, включая инструкции по действиям в аварийных ситуациях. Особое внимание уделяется проверке исправности защитных устройств, систем релейной защиты и автоматического отключения, что снижает риск поражения электрическим током.

Перед началом работ необходимо проводить анализ возможных рисков, отключение оборудования от источников питания и выполнение испытаний для подтверждения отсутствия напряжения.

Также необходимо устанавливать предупреждающие знаки и ограждения в местах проведения работ. Все перечисленные мероприятия «направлены на минимизацию рисков для здоровья и жизни работников, что способствует повышению общей безопасности эксплуатации системы электроснабжения торгового центра.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности и пожарной безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра направлены на минимизацию рисков для жизни и здоровья персонала» [9], а также предотвращение возможных аварийных ситуаций.

Ключевыми аспектами являются соблюдение строгих правил электробезопасности и своевременная проверка исправности оборудования. Перед началом работ необходимо отключить электроустановки от источников питания, провести контроль отсутствия напряжения и обеспечить надежное заземление.

«Технические средства и способы защиты от поражения током при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра» [9], представлены на рисунке 12.



Рисунок 12 – Технические средства и способы защиты от поражения током при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра

Для предотвращения возникновения пожаров важно регулярно проверять состояние кабелей, соединений и электрооборудования, чтобы избежать перегрузок, коротких замыканий и искрообразования.

Персонал должен быть обеспечен всеми необходимыми средствами пожаротушения, такими как огнетушители и противопожарные системы, размещенными вблизи рабочих зон. Особое внимание уделяется обучению сотрудников правильному обращению с оборудованием и действиям в случае возникновения аварийных или нештатных ситуаций.

Регулярное проведение инструктажей, проверка систем автоматической защиты и использование только сертифицированных средств защиты позволяют поддерживать высокий уровень безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения торгового центра.

Таким образом, приведённый краткий перечень мероприятий по «обеспечению охраны труда, а также электробезопасности и пожарной безопасности, может быть рекомендован к внедрению на объекте проектирования» [9].

3.2 Расчёт контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ торгового центра

Известно, что расчёт контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ торгового центра имеет ключевое значение для обеспечения безопасной и надёжной работы системы электроснабжения.

Актуальность проведения данного расчёта обусловлена необходимостью защиты как оборудования, так и персонала от поражения электрическим током. Заземление снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций, таких как короткие замыкания и пробой изоляции, и предотвращает возникновение опасных потенциалов на металлических частях оборудования.

Необходимость расчёта контура заземления также связана с требованиями нормативных документов, которые устанавливают предельно допустимые значения сопротивления заземляющих устройств.

Правильно спроектированный и рассчитанный контур заземления способствует эффективному отводу токов короткого замыкания в землю, минимизируя риски для системы электроснабжения и обеспечивая безопасность её эксплуатации.

Без результатов такого расчёта невозможно гарантировать соответствие системы требованиям электробезопасности и надёжной работы питающей подстанции торгового центра.

«Принимаются следующие исходные данные:

- вертикальные заземлители (электроды): материал – сталь, диаметр стержней – 16 мм, длина стержней – 2 м, глубина погружения в грунт – 50 см;
- горизонтальные заземлители (электроды): материал – полосовая сталь, длина – 4 м, метод соединения – сварка (проводник заземления крепится на болтовое соединение);
- грунт – суглинок» [11].

«Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей, Ом» [11]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\partial} \cdot K_{n.z}, \quad (49)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\partial} \cdot K_{n.в}, \quad (50)$$

где « $\rho_{y\partial}$ – удельное сопротивление грунта (для суглинка), Ом;
 $K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – коэффициенты использования электродов» [11].

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Для стержневого вертикального заземлителя» [11]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (51)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом}.$$

«Число вертикальных заземлителей» [11]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт.} \quad (52)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 \cdot 4} = 26,34 \text{ шт.}$$

«Принимается $N = 27$ шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов» [11]:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_p}{K_{u.e} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.} \quad (53)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление вертикальных заземлителей контура» [11]:

$$R_{\text{в.з.}} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (54)$$

$$R_{\text{в.з.}} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

«Уточненное число вертикальных заземлителей» [11]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{ шт,} \quad (55)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 + 4,72} = 24,15 \text{ шт.}$$

«Принимается 25 заземлителей.

«Сопротивление вертикальных заземлителей» [11]:

$$R_{\text{в.е}} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{ Ом.} \quad (56)$$

$$R_{\text{в.е}} = \frac{69,53}{0,66 \cdot 25} = 4,56 \text{ Ом.}$$

«Общее сопротивление заземлителей» [11]:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \text{ Ом}, \quad (57)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 \text{ Ом}.$$

«Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ТП-10/0,4 кВ проектируемого торгового центра в г. Южно-Сахалинск двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов)» [11].

Выводы по разделу.

Установлено, что приведённые мероприятия по обеспечению безопасности минимизируют риски травм, поражения электрическим током и возникновения пожаров, что способствует защите здоровья и жизни персонала, а также сохранности оборудования. Внедрение таких мероприятий позволяет предотвратить аварийные ситуации, снизить вероятность простоев в работе.

Установлено, что рассчитанный контур заземления питающей ТП-10/0,4 кВ, состоящий из двадцати пяти вертикальных электродов, обеспечит надёжную защиту персонала от поражения электрическим током, а также оборудования от возникновения ненормальных режимов.

Заключение

В работе проведена разработка проекта системы электроснабжения нового торгового центра комплексного типа в г. Южно-Сахалинск Сахалинской области.

В рамках проектирования определено, что в торговом центре планируется разместить восемь различных объектов, общая активная нагрузка которых составляет 1537 кВт.

Все объекты будут расположены в подвальном и первом этажах здания.

Для создания надёжной и эффективной системы электроснабжения проведён анализ и выделены основные требования и действующие нормы по проектированию систем электроснабжения общественных гражданских объектов.

При расчёте электрических нагрузок системы электроснабжения торгового центра, были получены следующие основные результаты:

- суммарная силовая нагрузка потребителей торгового центра: активная нагрузка $P_{p..} = 1537,0$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p..} = 618,6$ квар, полная нагрузка $S_{p..} = 1669,6$ кВА;
- суммарная нагрузка освещения торгового центра: активная нагрузка $P_{p..} = 88,9$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p..} = 23,2$ квар, полная нагрузка $S_{p..} = 93,6$ кВА;
- суммарная расчётная нагрузка торгового центра (с учётом силовой и осветительной нагрузки): активная нагрузка $P_{p..} = 907,1$ кВт, реактивная нагрузка $Q_{p..} = 254,8$ квар, полная нагрузка $S_{p..} = 942,3$ кВА.

Исходя из полученных результатов установлено, что для питания нагрузки потребителей необходимо применить 2 трансформатора марки ТМГ-630/10.

Определено, что данные силовые трансформаторы способны обеспечить стабильное и надёжное питание нагрузки потребителей торгового центра как

в нормальном, так и в послеаварийном режимах работы без ущерба для системы охлаждения.

Определено, что выбранная подстанция типа БКТП 630/10/0,4 кВ представляет собой современное и эффективное решение, обеспечивающее надёжную, безопасную и долговечную эксплуатацию, что делает её подходящей для использования на ТП-10/0,4 кВ торгового центра.

В результате выбора проводников в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск, были приняты и обоснованы следующие решения:

- для питания ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ на напряжении 10 кВ выбраны и проверены современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами марки АПвПГ-10 (3×50) ООО «Камский кабель» с длительно-допустимой токовой нагрузкой 175 А при прокладке в земле;
- для канализации электроэнергии в питающей сети 0,38/0,22 кВ объекта проектирования были выбраны и проверены следующие кабельные линии: одна силовая линия с двумя кабелями марки АПвВГ (4×10), две силовые линии с двумя кабелями марки АПвВГ (4×50), две силовые линии с двумя кабелями марки АПвВГ (4×70), две силовые линии с двумя кабелями марки АПвВГ (4×150), а также одна силовая линия с четырьмя кабелями марки АПвВГ (4×95).

В результате проведения расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск, получены следующие основные результаты:

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме на выводах 10 кВ силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ $I^{(3)} = 2,14$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 1,85$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 4,24$ кА;
- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме на выводах 0,4 кВ силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ $I^{(3)} = 13,38$ кА,

значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 11,59$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 18,92$ кА;

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в распределительной сети 0,38/0,22 кВ $I^{(3)} = 1,31$ кА, значение двухфазного тока КЗ $I^{(2)} = 1,13$ кА, значение ударного тока трёхфазного КЗ $I_{уд} = 1,85$ кА.

Расчётным путём выбраны и подтверждены электрические аппараты в сети 10 кВ системы электроснабжения торгового центра в г. Южно-Сахалинск (на стороне 10 кВ в ячейках РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ и в ячейках 10 кВ питающего РП-10 кВ энергосистемы Сахалинской области).

В результате проведения расчётов, выбраны, проверены и подтверждены автоматические выключатели в сети 0,38/0,22 кВ торгового центра в г. Южно-Сахалинск.

Установлено, что приведённые мероприятия по обеспечению безопасности минимизируют риски травм, поражения электрическим током и возникновения пожаров, что способствует защите здоровья и жизни персонала, а также сохранности оборудования. Внедрение таких мероприятий позволяет предотвратить аварийные ситуации, снизить вероятность простоев в работе.

Установлено, что рассчитанный контур заземления питающей ТП-10/0,4 кВ, состоящий из двадцати пяти вертикальных электродов, обеспечит надёжную защиту персонала от поражения электрическим током, а также оборудования от возникновения ненормальных режимов.

Таким образом, в результате выполнения работы проведена разработка мероприятий, способных привести к созданию качественной, надёжной и безопасной системы электроснабжения нового торгового центра комплексного типа в г. Южно-Сахалинск Сахалинской области.

Список используемой литературы и используемых источников

1. БКТП 630/10/0,4 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://transmtk.com/catalog/transformatornye-podstantsii/bktp-630-10-0-4/> (дата обращения: 17.09.2024).
2. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://elekom.ru/products/kabeli-silovye-s-izolyatsiej-iz-sshitogo-polietilena-na-napryazhenie-1kv> (дата обращения: 17.09.2024).
3. КАМКАБЕЛЬ. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiKwqTS4sKIAxUHRvEDHWr8KGI4ChAWegQIFhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.proektant.org%2Farh%2Ffile%2F1267.html&usg=AOvVaw350xpsC1XATZvgCI4fSlv3&opi=89978449> (дата обращения: 17.09.2024).
4. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
5. Климат Южно-Сахалинска (Российская Федерация) [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.climate-data.org/азия/россииская-федерация/сахалинская-область/южно-сахалинск-1814/> (дата обращения: 17.09.2024).
6. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
7. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
8. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
9. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 17.09.2024).
13. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
15. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 17.09.2024).
16. Торговый центр [Электронный ресурс]: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80 (дата обращения: 17.09.2024).
17. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 17.09.2024).
18. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.
19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.
20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение

Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство
энергетики, 2020. 142 с.