

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 электроснабжения ТРК «Светлана» г. Оренбург

Обучающийся

А. Д. Шешин  
(Инициалы Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., проф. П. А. Николаев  
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## Аннотация

В работе проведена разработка проекта системы электроснабжения торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург.

Данная работа обусловлена необходимостью ввода в эксплуатацию объекта исследования.

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения (далее – СЭС) торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург (далее – ТРК «Светлана»), в работе проведено решение следующих практических задач:

- анализ исходных данных на проектирование СЭС ТРК «Светлана»;
- разработка и расчётно-аналитическое обоснование проекта системы электроснабжения ТРК;
- разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности на объекте проектирования.

Таким образом, в результате разработки проекта СЭС ТРК «Светлана», выбраны и обоснованы технические, экономические и организационные мероприятия, способные значительно улучшить параметры надёжности, экономичности и безопасности на объекте проектирования.

Работа содержит 62 страницы печатного текста и 6 листов графической части формата А1.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных данных на проектирование объекта.....	7
1.1 Характеристика ТРК «Светлана» .....	7
1.2 Нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов.....	12
2 Разработка проекта системы электроснабжения ТРК.....	15
2.1 Выбор схемы электроснабжения ТРК «Светлана».....	15
2.2 Расчёт электрических нагрузок .....	18
2.3 Выбор силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ.....	23
2.4 Выбор компенсирующих устройств на питающей ТП-10/0,4 кВ.....	26
2.5 Выбор и проверка кабелей.....	28
2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....	36
2.7 Выбор и проверка коммутационной и защитной аппаратуры.....	41
3 Разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности.....	52
3.1 Мероприятия по охране труда и технике безопасности в системе электроснабжения ТРК .....	52
3.2 Расчёт контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК .....	54
Заключение .....	58
Список используемых источников.....	61

## Введение

Развитие торгово-развлекательных комплексов в Российской Федерации является одним из важнейших аспектов урбанизации и коммерческой инфраструктуры, которое существенно влияет на социально-экономическую среду городов.

ТРЦ представляют собой многофункциональные пространства, где объединены торговля, развлечения и питание, что делает их значимыми центрами притяжения как для местных жителей, так и для туристов.

Современные торгово-развлекательные комплексы в России стремятся к созданию интегрированной среды, удовлетворяющей широкий спектр потребностей посетителей.

Данный аспект включает в себя не только возможности для шоппинга, но и разнообразные формы досуга, включая кинотеатры, спортивные клубы, детские игровые и развивающие центры, а также места для проведения общественных и культурных мероприятий.

Интеграция таких функций способствует увеличению времени, проводимого посетителями в комплексах, что, в свою очередь, положительно влияет на экономическую эффективность объекта.

Процесс развития ТРЦ в России также отражает глобальные тенденции устойчивого развития и экологической ответственности.

Все большее значение придаётся использованию энергоэффективных технологий, экологически чистых материалов в строительстве и эксплуатации зданий, а также созданию зелёных зон и внедрению систем умного управления ресурсами.

Указанные аспекты не только снижают экологический отпечаток комплексов, но и способствуют повышению их привлекательности для более осведомлённых и требовательных потребителей.

Социальная функция торгово-развлекательных комплексов также не может быть недооценена.

ТРЦ часто выполняют роль общественных пространств, где люди могут встречаться, общаться и участвовать в общественной жизни.

Данный факт придает ТРЦ важное значение в формировании культурной идентичности города или района, делая их важными элементами в структуре городской среды.

Развитие ТРЦ в России продолжит оставаться актуальным в контексте урбанизации и развития рынка потребительских услуг.

При этом, ключевым аспектом остаётся адаптация к меняющимся требованиям и предпочтениям потребителей, что требует от застройщиков и управляющих компаний постоянного внимания к инновациям, качеству предлагаемых услуг и устойчивому развитию [20].

Таким образом, ТРК играют многогранную роль в жизни города и его жителей, предоставляя им возможности для деловых отношений, культурного развития, общественного взаимодействия, развлечения, образования и экономического развития.

Следовательно, они должны быть обеспечены всеми необходимыми энергетическими коммуникациями, которые обеспечивают надёжное функционирование всех систем жизнеобеспечения, а также безопасность людей.

Кроме того, их схемные решения должны соответствовать принятым стандартам и нормам.

В противном случае необходимо внедрять эффективные мероприятия по реконструкции и модернизации СЭС данных объектов, с учётом их оборудования.

Данные аспекты определяют актуальность и практическую ценность настоящей работы.

Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург.

Данная работа обусловлена необходимостью ввода в эксплуатацию объекта исследования.

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта СЭС торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург, в работе проведено решение следующих практических задач:

- анализ исходных данных на проектирование СЭС ТРК «Светлана»;
- разработка и расчётно-аналитическое обоснование проекта системы электроснабжения ТРК;
- разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности на объекте проектирования.

Таким образом, в результате разработки проекта СЭС ТРК «Светлана», выбраны и обоснованы технические, экономические и организационные мероприятия, способные значительно улучшить параметры надёжности, экономичности и безопасности на объекте проектирования.

# 1 Анализ исходных данных на проектирование объекта

## 1.1 Характеристика ТРК «Светлана»

Проектируемый ТРК «Светлана» расположен в г. Оренбург [15].

«Основными потребителями проектируемого ТРК «Светлана» являются:

- пиццерия с кафе и магазином (предприятие общественного питания, полностью электрифицированное);
- спортивно – развлекательный комплекс, включающий кафетерий, бар, кинотеатр, боулинг, аттракционы и т.п.;
- торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты и т.п.), сдающиеся в аренду;
- непродовольственный супермаркет, осуществляющий торговлю непродовольственными товарами лёгкой промышленности;
- мини – пекарня (предприятие общественного питания, полностью электрифицированное);
- продовольственный супермаркет, осуществляющий торговлю продуктами питания» [5].

Также в состав проектируемого комплекса входят станция технического обслуживания и ремонта автомобилей, а также технические системы жизнеобеспечения объекта проектирования.

Проектируемый торгово-развлекательный комплекс включает в себя различные подразделения, каждое из которых выполняет определённую функцию, направленную на удовлетворение потребностей посетителей и увеличение коммерческой привлекательности объекта. Эти подразделения формируют многофункциональное пространство, где синергия различных видов деятельности способствует созданию уникального потребительского опыта.

Пиццерия с кафе и магазином представляет собой предприятие общественного питания, полностью электрифицированное, что позволяет использовать современное оборудование для приготовления пищи и обслуживания клиентов. Эта зона предназначена для предоставления посетителям качественных и быстрых гастрономических услуг, удовлетворяя потребности в питании в комфортной и привлекательной обстановке. Магазин при пиццерии и кафе может предлагать связанные с едой товары, например, деликатесы, сувениры или ингредиенты, используемые в меню.

Спортивно-развлекательный комплекс интегрирует в себя разнообразные развлекательные услуги, такие как кафетерий, бар, кинотеатр, боулинг и аттракционы. Этот комплекс предназначен для предоставления посетителям широкого спектра досуговых активностей, от активных видов спорта до просмотра фильмов и участия в развлечениях. Он способствует увеличению времени, проводимого посетителями в комплексе, и стимулирует повышение их потребления.

Торговые площади, сдающиеся в аренду магазинам, бутикам и мини-маркетам, создают коммерческую среду, где различные торговые марки могут представлять свои товары и услуги. Эта зона обеспечивает динамичное торговое пространство, способствующее привлечению широкого круга потребителей и удовлетворению их разнообразных потребностей в покупках.

Непродовольственный супермаркет ориентирован на продажу товаров лёгкой промышленности, включая одежду, бытовую технику, косметику и другие товары для дома и личного пользования. Этот формат магазина дополняет общий ассортимент комплекса и поддерживает потребительский спрос на широкий спектр непродовольственных товаров.

Мини-пекарня, также являясь предприятием общественного питания и полностью электрифицированной, предоставляет посетителям свежую выпечку и другие кондитерские изделия. Это место способствует созданию уютной атмосферы и привлекает клиентов возможностью перекусить свежими и ароматными продуктами.

Продовольственный супермаркет служит основным источником продуктов питания для посетителей комплекса и окрестных жителей.

Он предлагает широкий выбор продовольственных товаров, от свежих фруктов и овощей до замороженных продуктов и напитков, что делает его важным элементом для ежедневных покупок.

Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей в составе торгово-развлекательного комплекса представляет собой специализированное подразделение, нацеленное на предоставление широкого спектра услуг по уходу и ремонту автомобилей посетителей и сотрудников ТРК.

Данное подразделение укрепляет функциональное разнообразие комплекса, добавляя значимую стоимость к общему набору предлагаемых услуг и улучшая общий опыт потребителей.

Системы жизнеобеспечения ТРК обеспечивают создание комфортных и безопасных условий для посетителей и персонала, поддерживая стабильное функционирование всех подразделений комплекса.

Ключевые элементы этих систем включают [15]:

- вентиляция и кондиционирование: обеспечение поддержания оптимального микроклимата в помещениях ТРК, что важно для создания комфортной среды для посетителей и эффективной работы сотрудников;
- электроснабжение: надежное электропитание всех зон ТРК, включая торговые площади, развлекательные учреждения и служебные помещения, с использованием современных систем резервирования для предотвращения перебоев в работе;
- водоснабжение и канализация: эффективные системы водоснабжения и водоотведения, обеспечивающие непрерывный доступ к воде и ее утилизацию, что критично для поддержания гигиены и здоровья посетителей;

– системы безопасности: включают видеонаблюдение, системы контроля доступа и пожарную сигнализацию для обеспечения защиты посетителей, персонала и имущества ТРК от различных угроз.

Внедрение и тщательное управление этими системами требуют комплексного подхода и высокой квалификации управленческого персонала, способного координировать работу различных служб и подразделений для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации торгово-развлекательного комплекса.

Таким образом, каждое подразделение торгово-развлекательного комплекса выполняет свою уникальную функцию, внося вклад в создание мультифункционального пространства, которое обеспечивает широкий спектр товаров и услуг для удовлетворения различных потребностей посетителей. Исходные технические данные, необходимые для проектирования ТРК «Светлана» г. Оренбурга, представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные, необходимые для проектирования ТРК «Светлана» г. Оренбурга

Наименование потребителя	Номер по плану	$P_{ном.}$ , кВт	S, м <sup>2</sup>	Категория надежности
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	1	171,0	864	II
Системы жизнеобеспечения ТРК	2	277,0	144	II
Пиццерия с кафе и магазином	3	156,0	180	II
Спортивно – развлекательный комплекс	4	123,0	168	II
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	5	375,0	180	II
Продовольственный супермаркет	6	274,0	504	II
Непродовольственный супермаркет	7	115,0	216	II
Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	8	46,0	252	II
Всего	-	1537	2508	II

Рассматриваемый в работе ТРК «Светлана» относится ко 2 категории надёжности потребителей. Данный аспект необходимо учесть при разработке схемных решений в работе далее. ТРК состоит из двух этажей – цокольного (подвала) и первого этажа. План расположения помещений первого и цокольного этажей ТРК «Светлана» представлен на рисунке 1.

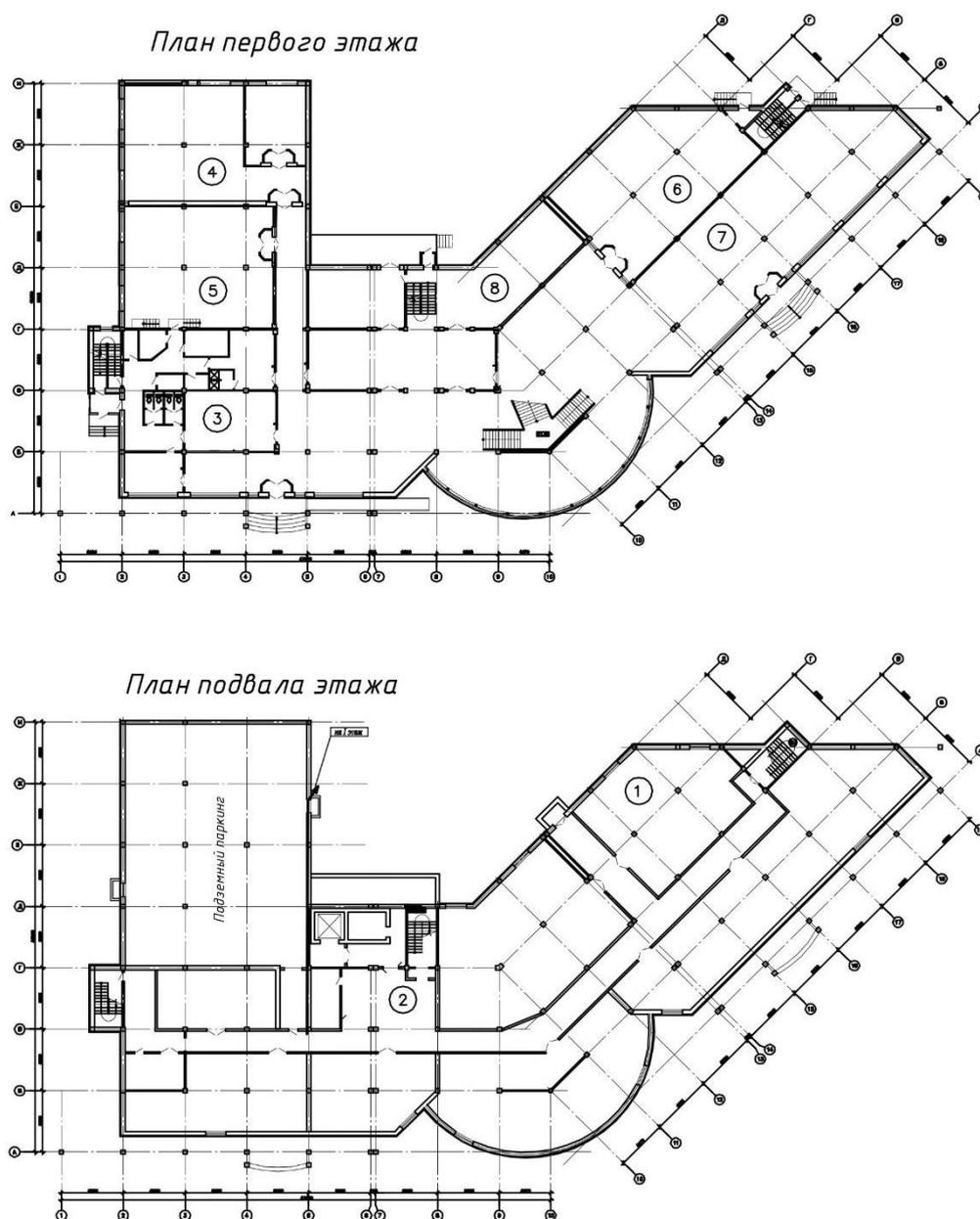


Рисунок 1 – План расположения помещений первого и цокольного этажей ТРК «Светлана»

На основе приведённых исходных данных, необходимых для проектирования ТРК «Светлана» г. Оренбурга, решаются основные задачи.

## **1.2 Нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов**

Для качественного проектирования ТРК «Светлана» необходимо рассмотреть нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов, к которым относится рассматриваемый в работе ТРК.

Проектирование систем электроснабжения общественных гражданских объектов должно строго соответствовать определённым нормам и стандартам, разработанным для обеспечения безопасности, надёжности и эффективности энергопотребления [9]. Развитие таких СЭС должны соответствовать требованиям [16], [17], [20].

Основной задачей при проектировании является создание системы, способной адекватно реагировать на высокие требования к качеству и непрерывности питания, которые характерны для подобных комплексов с их разнообразными и интенсивными потребностями в электроэнергии.

Принимая во внимание, что торгово-развлекательные центры включают множество заведений общественного питания, кинотеатров, магазинов и других объектов, которые требуют различных уровней мощности и имеют разное время работы, система электроснабжения должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать гибкое и разделённое управление потреблением энергии. Это включает использование современных систем управления нагрузкой и автоматизации, способных оптимизировать распределение энергии в зависимости от текущих потребностей различных зон комплекса.

Кроме того, система может быть спроектирована с возможностью легкой интеграции возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели или ветровые установки, что становится всё более актуальным в контексте глобальных трендов на снижение углеродного следа. Эффективное использование возобновляемых источников помогает снизить

операционные затраты на электроэнергию и повысить экологическую устойчивость объекта.

Также необходимо учитывать требования к электромагнитной совместимости, чтобы избежать помех от электрического оборудования, что особенно важно в условиях высокой плотности различных электронных устройств и систем в торговых и развлекательных центрах [8].

При этом такие системы электроснабжения должны быть защищены от перепадов напряжения, перегрузок и коротких замыканий, что обеспечивается через использование надёжных систем защиты и автоматического ввода резерва.

Проектирование должно также включать разработку мер по обеспечению безопасности при эксплуатации электроустановок, особенно в местах с высокой проходимостью людей, что требует использования только сертифицированных материалов и компонентов, а также проведение регулярных технических осмотров и обслуживания системы.

При этом важно обеспечить соответствующее резервирование потребителей систем электроснабжения общественных гражданских объектов. Принцип обеспечения такого резервирования представлен на рисунке 2.

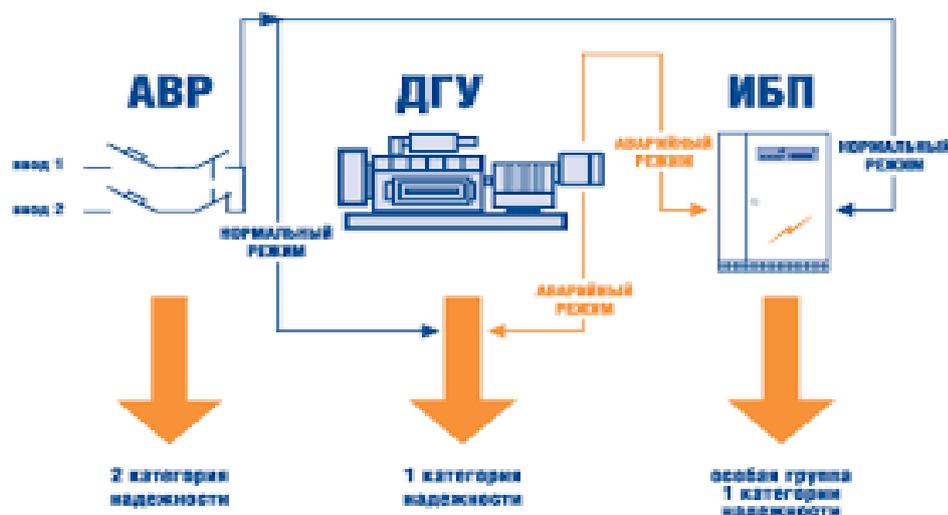


Рисунок 2 – Принцип обеспечения резервирования потребителей систем электроснабжения общественных гражданских объектов

В целом, проектирование системы электроснабжения для торгово-развлекательных гражданских объектов представляет собой комплексную инженерную задачу, которая требует интеграции технических решений, ориентированных на удовлетворение строгих норм безопасности и эффективности, а также способных адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и потребностям пользователей.

Выводы по разделу.

Рассмотрены исходные информационно-технические данные, необходимые для проектирования системы электроснабжения ТРК «Светлана» г. Оренбурга.

Установлено, что данный объект относится ко II категории надёжности. Он состоит из цокольного и первого этажей, на которых расположено восемь помещений, занимающих суммарную площадь 2508 м<sup>2</sup>, относящихся также ко II категории надёжности и, таким образом, требующих двух независимых источников питания.

Суммарная установленная мощность системы электроснабжения ТРК «Светлана» г. Оренбурга составляет 1537 кВт.

Для качественного проектирования ТРК «Светлана» рассмотрены нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов, к которым относится рассматриваемый в работе ТРК.

## **2 Разработка проекта системы электроснабжения ТРК**

### **2.1 Выбор схемы электроснабжения ТРК «Светлана»**

Далее в работе, на основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения гражданских сооружений, проводится выбор решений по проектированию системы электроснабжения торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург.

Как известно, что на выбор рациональной схемы электроснабжения ТРК «Светлана» оказывают влияние многочисленные факторы.

К ним относятся:

- максимальная нагрузка отдельных потребителей (пекарня, 375 кВт, таблица 1);
- суммарная нагрузка потребителей объекта (1537 кВт, таблица 1);
- категория надёжности объекта и электроприёмников (объект 2 категории надёжности);
- расстояние до питающей подстанции (узла) энергосистемы (ТП-10/0,4 кВ г. Оренбурга, расстояние – 67 м);
- структура электрической сети (присутствуют классы напряжения 10 кВ на питающей ТП, а также 0,38/0,22 кВ – во всей остальной схеме);
- необходимые условия резервирования и секционирования (принимаются, согласно потребителю 2 категории, две питающие линии от различных источников);
- прочие аналогичные факторы и условия (климатические, топографические).

Учитывая приведённые выше факторы, внешнее электроснабжение ТРК «Светлана» планируется осуществить от трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Оренбурга, кабельной линией с применением двух силовых

кабелей напряжением 0,4 кВ.

Данная линия питает вводные распределительные устройства объектов (далее – ВРУ-0,4 кВ) ТРК «Светлана».

Определено, что такая схема внешнего электроснабжения полностью соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами [9], [10].

Таким образом, в схеме внешнего электроснабжения ТРК «Светлана» принимается двухлучевая радиальная схема, которая показана на рисунке 3.

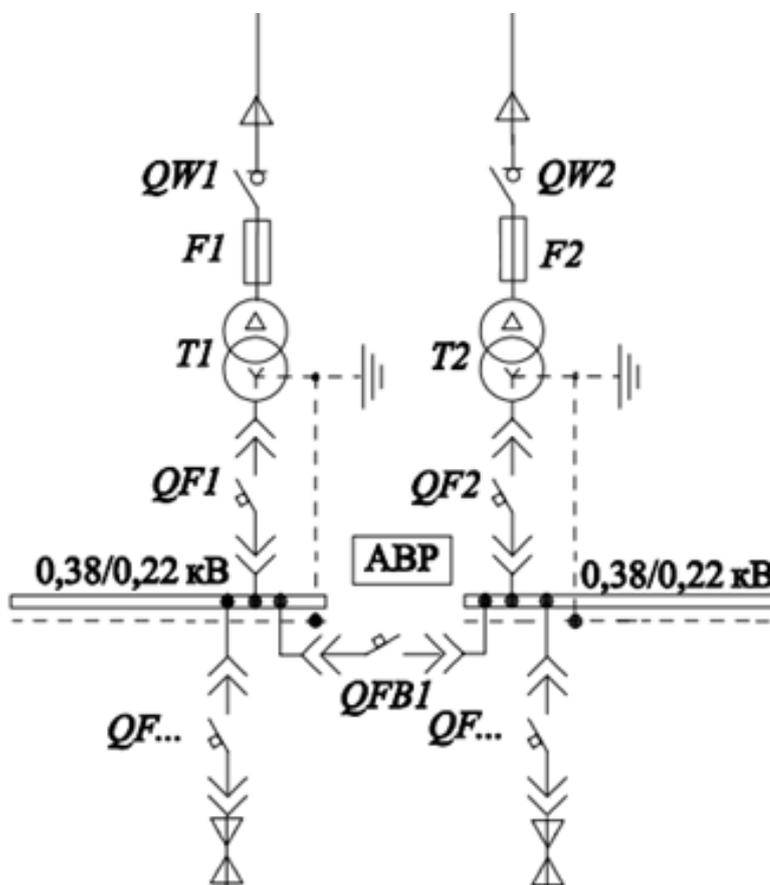


Рисунок 3 – Схема внешнего электроснабжения ТРК «Светлана» (двухлучевая радиальная схема)

На питающей ТП-10/0,4 кВ будут находиться два силовых трансформатора 10/0,4 кВ, мощность которых необходимо выбрать в работе далее. Оба трансформатора в нормальном режиме находятся в работе.

Данная ТП устанавливается в подвальном помещении ТРК в специальном месте и огораживается, чтобы минимизировать доступ к

токоведущим частям 10 кВ и 0,4 кВ.

На питающей подстанции 10/0,4 кВ в качестве аппаратов защиты и коммутации на стороне ВН предлагается использовать выключатели нагрузки марки ВНПУ-10/400-10-УЗ, плавкие предохранители марки ПК103-10-100-31,5/УЗ, а на стороне НН – автоматы ввода, секционный и линейные автоматы, а также плавкие предохранители марки ПН.

Последующее распределение электроэнергии на территории ТРК «Светлана» осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, питающего шкафы распределительные силовые (далее – СРШ) и шкафы освещения (далее – ШРО). В работе проектирование распределительной сети не проводится, так как все помещения будут проданы и всю распределительную сеть будут проектировать их владельцы с учётом собственных предпочтений.

При этом в питающей сети 0,4 кВ, подлежащей проектированию в работе, для каждого помещения используется своё ВРУ-0,4 кВ. Кроме того, отдельные ВРУ применяются для освещения:

- наружного;
- первого этажа;
- цокольного этажа.

От них питаются непосредственно потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Так как ТРК «Светлана» относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности [9], а также ремонтпригодности [8] и безопасности [7].

Поэтому на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения. Известно, что такие схемы являются наиболее надёжными и подходят для питания электроприёмников II категории [9].

Данный принцип также используется в работе. Принятые схемные решения, рекомендуемые для внедрения в системе электроснабжения

торгово-развлекательного комплекса «Светлана», показаны в графической части.

## **2.2 Расчёт электрических нагрузок**

Расчёт электрических нагрузок торгового-развлекательного центра является ключевым элементом в процессе проектирования и эксплуатации этих масштабных объектов. Актуальность данной задачи обусловлена необходимостью обеспечения надёжности энергоснабжения, оптимизации энергопотребления и снижения операционных расходов, а также соответствия современным требованиям энергоэффективности и экологичности.

Цели расчёта нагрузок включают определение максимальной и минимальной потребляемой мощности, которая необходима для нормальной работы всех систем торгового-развлекательного центра, включая освещение, отопление, вентиляцию, кондиционирование, оборудование для ресторанов и других развлекательных зон. Это позволяет точно спроектировать и подобрать оборудование подстанций, их трансформаторов и распределительных устройств, а также систем аварийного питания, обеспечивающих бесперебойную работу объекта даже при сбоях в внешнем электроснабжении.

Задачи расчёта электрических нагрузок включают анализ всех возможных режимов работы торгового-развлекательного центра, учёт пиковых и минимальных нагрузок в разное время суток и года. Особое внимание уделяется сезонным колебаниям в использовании электрической энергии, вызванным изменением климатических условий и вариациями в потоке посетителей. Кроме того, важно определить степень износа существующего электрооборудования и его способность справляться с текущими и прогнозируемыми нагрузками.

Правильный расчёт электрических нагрузок способствует повышению эффективности использования электроэнергии, оптимизации структуры и размеров энергосистемы, что в свою очередь приводит к снижению эксплуатационных расходов и уменьшению воздействия на окружающую среду за счёт уменьшения потребления ресурсов и эмиссии углекислого газа. Также это способствует повышению уровня безопасности объекта, предотвращению аварийных ситуаций и обеспечению высоких стандартов обслуживания посетителей и арендаторов.

«Значение расчётной активной электрической нагрузки на вводе объектов проектируемого ТРК, 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 ТРК, квар» [6]:

$$Q_p = P_p \cdot tg\phi_o, \quad (2)$$

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

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

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3)$$

«Для СТО ТРК» [6]:

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

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

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

«Результаты расчетов остальных объектов проектируемого ТРК проведены аналогично и сведены в таблицу 2» [6].

Таблица 2 – Расчёт силовых нагрузок ТРК

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 ТРК	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 электроплитами, электрооборудованием и 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 (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	46,0	0,20	46,0	9,2	46,9
Всего по ТРК	1537	-	1537,0	618,6	1669,6

«Проводится определение расчетной нагрузки освещения объектов ТРК. Значение активной расчетной нагрузки наружного освещения, кВт» [16]:

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

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

$l_i$  – суммарная длина  $i$ -ой здания, км» [16].

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

«Значение активной расчетной электрической нагрузки внутреннего освещения, кВт» [16]:

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

где « $P_{уд.вн.}$  – нормируемое значение удельной активной нагрузки  
внутреннего освещения проектируемого ТРК, кВт/га;  
 $F$  – суммарная площадь ТРК, га» [16].

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

«Значение суммарной расчетной активной электрической нагрузки  
внешнего и внутреннего освещения проектируемого ТРК, кВт» [16]:

$$P_{р.о.тк} = P_{р.у.о.} + P_{р.вн.}, \quad (6)$$

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

«Значение суммарной расчетной реактивной электрической нагрузки  
внешнего и внутреннего освещения проектируемого ТРК, квар» [16]:

$$Q_{р.о.тк} = P_{р.у.о.} \cdot \text{tg}\varphi_{у.о.} + P_{р.вн.} \cdot \text{tg}\varphi_{вн.}, \quad (7)$$

где  $\text{tg}\varphi_{у.о.}$  и  $\text{tg}\varphi_{вн.кв.}$  – «соответственно, коэффициенты мощности  
наружного и внутреннего освещения объектов ТРК» [16].

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

«Значение суммарной полной реактивной электрической нагрузки  
внешнего и внутреннего освещения проектируемого ТРК, кВА» [16]:

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

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

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

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

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

«Суммарная реактивная электрическая нагрузка, 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 проектируемого ТРК, кВт» [13]:

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

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].

$$P_{p.mk} = 375 + (1710,5 + 1560,5 + 1230,5 + 2770,5 + \\ + 2740,5 + 1150,5 + 460,5) + 188,9 = 907,1 \text{ кВт.}$$

«Реактивная составляющая нагрузки ТРК, квар» [13]:

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

$$Q_{p.mk} = 375 \cdot 0,62 + (1710,5 \cdot 0,27 + 1560,5 \cdot 0,32 + 1230,5 \cdot 0,26 + 2770,5 \cdot 0,32 + \\ + 2740,5 \cdot 0,32 + 1150,5 \cdot 0,62 + 460,5 \cdot 0,2) + 188,9 \cdot 0,328 = 254,8 \text{ квар,}$$

«Полная расчетная нагрузка проектируемого ТРК, кВА» [13]:

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

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

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

Как было установлено ранее при выборе рациональных схемных решений, на питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК «Светлана» будут находиться два силовых трансформатора 10/0,4 кВ, мощность которых необходимо выбрать в работе в данном разделе. Оба трансформатора в нормальном режиме находятся в работе.

Данная подстанция устанавливается в подвальном помещении ТРК в специальном месте и огораживается, чтобы минимизировать доступ к токоведущим частям 10 кВ и 0,4 кВ.

Выбор силовых трансформаторов для питающей ТП-10/0,4 кВ торгово-развлекательного центра является важным элементом проектирования и эксплуатации электроснабжения объекта. Этот процесс обладает высокой актуальностью, поскольку качество и надежность выбранных трансформаторов напрямую влияют на стабильность работы всех систем центра, включая освещение, оборудование, системы безопасности и развлекательные установки.

Целями выбора силовых трансформаторов являются обеспечение достаточной и стабильной мощности для нормального функционирования всех потребителей электроэнергии в торгово-развлекательном центре, а также минимизация потерь электроэнергии в процессе её трансформации и передачи. Это включает обеспечение надежности энергоснабжения, чтобы предотвратить возможные сбои и аварии, которые могут привести к значительным финансовым потерям и нарушению работы центра.

Задачи, связанные с выбором трансформаторов, включают тщательный анализ технических характеристик предлагаемого оборудования. Важно учесть такие параметры, как номинальная мощность, КПД, тип охлаждения, изоляционные и эксплуатационные характеристики, а также способность трансформатора работать в условиях повышенных нагрузок, которые могут возникать в пиковые часы работы торгового центра.

Кроме технических параметров, необходимо оценить и экономические аспекты, включая стоимость трансформаторов и расходы на их обслуживание и эксплуатацию.

Выбор силовых трансформаторов также должен учитывать требования к экологической безопасности и энергоэффективности. Это означает предпочтение оборудованию, которое соответствует современным нормам по снижению уровней шума, тепловыделения и вредных выбросов. Такой подход способствует не только улучшению экологического профиля торгового центра, но и созданию более комфортных условий для посетителей и персонала.

Таким образом, процесс выбора силовых трансформаторов для торгово-развлекательного центра является комплексной задачей, требующей интеграции технических, экономических и экологических соображений для обеспечения надежной и эффективной работы электроснабжения объекта.

«Мощность силового трансформатора на питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК» [2]:

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

где « $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА;  
 $S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА;  
 $P_{\text{р.}}$  – суммарная активная нагрузка объектов ТРК, которые получают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт;  
 $N$  – количество силовых трансформаторов для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ, шт;  
 $\beta_{\text{т}}$  – нормируемый коэффициент загрузки силового трансформатора на питающей ТП-10/0,4 кВ» [2].

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

«Для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК выбираются два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10.

Конструктивно питающая ТП-10/0,4 кВ выполнена в виде одноэтажного сооружения с кабельными вводами и состоит из двух силовых трансформаторов типа ТМ-630/10, а также распределительных устройств 10 кВ и 0,4 кВ. Для проверки выбранных трансформаторов, согласно [3], действительные значения коэффициентов загрузки сравниваются с допустимыми значениями.

Проверка в нормальном режиме» [2]:

$$K_3^n \leq 0,85 \leq \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \quad (15)$$

«Проверка в послеаварийном режиме» [8]:

$$K_3^{n.ав} \leq 1,7 \leq \frac{S_p}{S_{\text{ном.т}}}, \quad (16)$$

$$K_3^n \leq 0,85 \leq \frac{942,3}{630 \cdot 2} = 0,748,$$

$$K_3^{n.ав} \leq 1,7 \leq \frac{942,3}{630 \cdot (2-1)} = 1,496.$$

«Окончательно принимается к установке на питающей ТП-10/0,4 кВ проектируемого ТРК два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10» [2].

## 2.4 Выбор компенсирующих устройств на питающей ТП-10/0,4 кВ

Выбор компенсирующих устройств для питающей трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ торгово-развлекательного центра является критически важным элементом в проектировании системы электроснабжения.

Указанная задача актуальна из-за потребности в оптимизации качества электрической энергии, уменьшении потерь мощности и улучшении эффективности энергопотребления.

Цель выбора компенсирующих устройств заключается в стабилизации напряжения и снижении реактивной мощности в электрической сети торгово-развлекательного центра.

Это особенно важно, учитывая высокую нагрузку на сеть из-за разнообразия потребителей электроэнергии, таких как осветительные системы, эскалаторы, лифты, системы кондиционирования и крупномасштабное оборудование для развлечений.

Компенсация реактивной мощности помогает избежать штрафов за превышение допустимых норм потребления реактивной мощности и уменьшает финансовые затраты.

Таким образом, выбор и установка компенсирующих устройств в питающей ТП торгово-развлекательного центра способствуют оптимизации работы всей электросети, улучшению её экономических показателей и повышению уровня энергетической безопасности и надежности объекта.

«Входная реактивная нагрузка ТП-10/0,4 кВ ТРК» [12]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - P_p^2}, \quad (17)$$

где « $N$  – число трансформаторов на питающей ПС-10/0,4 кВ, шт.;

$\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформаторов» [12].

«Мощность конденсаторных установок (КУ)» [12]:

$$Q_{н.к} = Q_p - Q_T, \quad (18)$$

где « $Q_p$  – реактивная нагрузка на шинах ТП-10/0,4 кВ ТРК, квар» [12].

«Мощность регулируемой части КУ» [12]:

$$Q_{н.к.р} = Q_{р.т} - Q_{н.к} - P_{р.ТП} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n. \quad (19)$$

«Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств» [12]:

$$Q_{КУ} = Q_{н.к} + Q_{н.к.р}. \quad (20)$$

«Полная мощность ТП-10/0,4 кВ с учётом КУ» [12]:

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

«Коэффициент загрузки ТП-10/0,4 кВ с учётом КУ» [12]:

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.т}}. \quad (22)$$

Расчёт КУ для ТП-10/0,4 кВ ТРК:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 907,1^2} = 439,6 \text{ квар},$$

$$Q_{н.к} = 254,8 - 439,6 = -184,8 \text{ квар}.$$

«Так как  $Q_{н.к} < 0$ , следовательно, конденсаторные установки

напряжением 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ проектируемой СЭС ТРК не устанавливаются» [14].

## 2.5 Выбор и проверка кабелей

Согласно принятой схеме системы электроснабжения ТРК, необходимо выбрать и проверить:

- сечение питающей кабельной линии напряжением 10 кВ (от РП-10 кВ до РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ);
- сечение питающей кабельной линии напряжением 0,4 кВ (от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ до ВРУ-0,4 кВ).

«Рабочий ток нормального режима кабельной линии» [19]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (23)$$

«Максимальный расчётный ток линии с двумя силовыми кабелями (послеаварийный режим работы)» [19]:

$$I_{p.маx} = 1,4 I_{p.маx} \quad (24)$$

«Проверка сечения в послеаварийном режиме» [19]:

$$I_{доп} \geq I_{p.маx} \quad (25)$$

где « $I_{доп}$  – длительно – допустимый ток кабеля;

$I_{p.маx}$  – максимальный расчётный ток линии» [19].

«Выбор сечения питающей кабельной линии напряжением 10 кВ проводится по условию» [19]:

$$F_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (26)$$

где  $j_3$  – «экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [19].

«Проводится выбор силовых кабелей для питания ТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ энергосистемы» [19]:

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

$$F_3 = \frac{36,4}{1,6} = 22,8 \text{ A}.$$

С учётом экономической плотности тока, принимается стандартное сечение кабеля марки АСБ-10 (3×25) [1].

Кабель АСБ-10 представляет собой одно из наиболее эффективных решений в сфере электропроводки, особенно когда речь идет о прокладке в условиях, требующих повышенной защиты от механических повреждений.

Он широко используется для передачи и распределения электроэнергии в сетях напряжением до 10 кВ, включая подземные, наружные и канальные прокладки.

Преимущества кабеля АСБ-10 обусловлены его конструктивными особенностями и материалами изготовления.

Основой кабеля являются алюминиевые жилы секторной формы, которые обеспечивают не только высокую электропроводность, но и улучшенные гибкие качества по сравнению с круглыми жилами, что значительно упрощает монтаж.

Изоляция из сшитого полиэтилена повышает диэлектрические характеристики кабеля и обеспечивает его стойкость к агрессивным внешним воздействиям, таким как химическое заражение почвы или воды.

Броня из стальных лент придает кабелю АСБ-10 дополнительную защиту от механических повреждений и животных, что делает его особенно подходящим для прокладки в зонах с высокой вероятностью физического воздействия на кабель.

Также стальная броня служит дополнительной защитой от ультрафиолетового излучения и позволяет использовать кабель в условиях открытой прокладки без дополнительных защитных кожухов.

Эти качества делают кабель АСБ-10 экономически выгодным выбором для длительной эксплуатации в различных условиях, минимизируя затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Кроме того, использование кабеля способствует повышению общей надежности энергосистемы, обеспечивая стабильную и безопасную передачу электроэнергии к потребителям.

«Максимальный расчётный ток кабельной линии, которая питает ТП-1» [12]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 36,4 = 50,96 \text{ A.}$$

«Условие проверки выполняется» [12]:

$$105 \text{ A} \geq 50,96 \text{ A.}$$

«Окончательно выбирается кабель марки АСБ-10 (3×25)» [1].

«Выбор и проверка кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ проводится по допустимому нагреву токами нормального и послеаварийного режима. Количество кабелей в данном случае зависит от категории надёжности потребителей ТРК.

Далее в работе выбирается сечение кабельных линий, питающих ВРУ потребителей от шин напряжением 0,4 кВ питающей ПС-10/0,4 кВ.

Принимаются к использованию силовые алюминиевые негорючие кабели марки АВВГнг» [11].

Кабели марки АВВГнг представляют собой алюминиевые кабели с изоляцией и оболочкой из негорючего поливинилхлорида (ПВХ), что обеспечивает им важные эксплуатационные качества и технические преимущества.

Основное назначение этих кабелей – передача и распределение электроэнергии в стационарных установках, и они широко используются в жилых, общественных и промышленных зданиях, где требования к пожарной безопасности являются приоритетными.

Преимущества кабелей АВВГнг обусловлены их конструкцией и используемыми материалами.

Негорючий ПВХ, используемый в изоляции и оболочке, значительно уменьшает риски, связанные с возгоранием и распространением огня, что делает эти кабели идеальным выбором для применения в условиях, где требования к пожарной безопасности особенно строги.

Такая характеристика крайне важна для обеспечения безопасности в местах с высокой концентрацией людей или значительными материальными ценностями.

Алюминиевые жилы кабеля обеспечивают хорошую электропроводность при относительно низком весе, что упрощает транспортировку и монтаж кабеля.

Кроме того, алюминий является более экономичным вариантом по сравнению с медью, что делает кабели АВВГнг более доступными без компромиссов в качестве и надежности.

Использование негорючего ПВХ также минимизирует выделение токсичных веществ при возгорании, что существенно повышает уровень безопасности для людей и снижает потенциальный ущерб для окружающей среды и оборудования.

Это свойство делает АВВГнг предпочтительным выбором для использования в зданиях с повышенными требованиями к экологической и человеческой безопасности, например, в больницах, школах и торговых центрах.

Таким образом, кабели марки АВВГнг сочетают в себе надежность, безопасность и экономичность, предоставляя оптимальное решение для систем электроснабжения в условиях, где требуется высокий уровень пожарной безопасности и экологической ответственности.

«Питающая сеть напряжением 0,4 кВ, питающая ВРУ потребителей от шин низкого напряжения ТП-10/0,4 кВ, прокладывается в каналах [11].

Способ монтажа силовых кабелей в железобетонных каналах торгово-развлекательного комплекса обладает рядом преимуществ, делающих его оптимальным выбором для обеспечения эффективного и безопасного электроснабжения в условиях интенсивного использования коммерческого пространства.

Железобетонные каналы предоставляют надежную защиту кабельных линий от физических повреждений и воздействия агрессивной среды, что особенно важно в многофункциональных и многолюдных объектах, таких как торгово-развлекательные центры.

Применение железобетонных каналов позволяет значительно повысить уровень пожарной безопасности электроустановок.

Бетонная конструкция характеризуется низкой горючестью и способна предотвратить распространение огня в случае возгорания кабельной изоляции. Это особенность критически важна для объектов с высокой посещаемостью и плотностью застройки, поскольку минимизация риска пожара и его последствий является приоритетной задачей.

Кроме того, использование железобетонных каналов упрощает процесс обслуживания и ревизии кабельных систем, поскольку кабели, уложенные в таких каналах, легко доступны для осмотра и ремонта. Надёжное размещение кабелей в бетонных каналах облегчает идентификацию и устранение

неисправностей, что сокращает время на техническое обслуживание и повышает общую надёжность системы электроснабжения.

Монтаж силовых кабелей в железобетонных каналах также способствует сохранению архитектурной эстетики торгово-развлекательного комплекса.

Кабели, скрытые в каналах, не нарушают визуальную гармонию интерьеров и экстерьеров, что особенно важно для объектов, предназначенных для привлечения и удержания посетителей.

Это не только способствует созданию привлекательного и комфортного пространства для покупателей и гостей, но и поддерживает высокий уровень функциональности и эстетического качества коммерческой недвижимости.

Таким образом, выбор монтажа силовых кабелей в железобетонных каналах является стратегическим решением для торгово-развлекательных центров, направленным на повышение безопасности, надёжности, экономичности и эстетичности электрической инфраструктуры.

«Полная расчетная мощность питающей КЛ-0,4 кВ в нормальном режиме» [3]:

$$S_{p.n} = \frac{S_{p.1}}{2}. \quad (27)$$

«При этом расчётный ток питающей КЛ-0,4 кВ в нормальном режиме» [3]:

$$I_{p.n} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}. \quad (28)$$

«Расчётный ток в послеаварийном режиме» [3]:

$$I_{p.n} = \frac{0,9 \cdot S_{p.n}}{\sqrt{3}U_n}. \quad (29)$$

«Для участка ТП-10/0,4 кВ – СТО значение расчётной полной мощности, а также токов нормального и послеаварийного режимов» [3]:

$$S_{p.n} = \frac{176,7}{2} = 88,4 \text{ кВА},$$

$$I_{p.n} = \frac{88,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 134,3 \text{ А},$$

$$I_{p.n} = \frac{0,9 \cdot 176,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 241,6 \text{ А}.$$

«Для питающей линии на участке ТП-10/0,4 кВ – СТО» [3]:

$$I_{дон} \geq I_{p.n}. \quad (30)$$

«Принимается ближайшее значение  $I_{дон} = 153 \text{ А}$ , следовательно, стандартное сечение будет  $F=50 \text{ мм}^2$ » [3].

$$150 \text{ А} > 134,3 \text{ А}.$$

«Проверка выбранного кабеля по условию нагрева в нормальном режиме» [3]:

$$I'_{дон} \geq K_{общ} I_{дон}, \text{ А}, \quad (31)$$

$$I'_{дон} \geq I_{p.n}, \text{ А}. \quad (32)$$

Таким образом, для данной питающей КЛ-0,4 кВ:

$$I'_{доп.н} = 0,87 \cdot 153 = 135,1 \text{ А},$$

$$135,1 \text{ А} > 134,3 \text{ А}.$$

«Проверка выбранного кабеля по условию предельно нагрева в послеаварийном режиме» [3]:

$$I'_{доп.н} = K'_{общ} \cdot I_{доп}, \text{ А}, \quad (33)$$

$$I'_{доп.н} \geq I_{р.н}, \text{ А}, \quad (34)$$

$$I'_{доп.н} = 1,15 \cdot 153 = 176 \text{ А},$$

$$176 \text{ А} \leq 241,6 \text{ А}.$$

«Условие проверки в послеаварийном режиме на нагрев не выполняется.

Увеличивается стандартное сечение силового кабельной линии.

Выбирается  $F=95 \text{ мм}^2$ , при прокладке в воздухе, допустимый ток  $I_{доп.н}=219 \text{ А}$ .

Повторная проверка силового кабеля нового сечения выполняется» [3]:

$$I'_{доп.н} = 1,15 \cdot 219 = 251,9 \text{ А},$$

$$251,9 \text{ А} > 241,6 \text{ А}.$$

«Окончательно принимается сечение жилы силового кабеля для питания СТО от ТП-10/0,4 кВ, равное  $F=95 \text{ мм}^2$ . Аналогично выбраны и проверены в послеаварийном режиме остальные КЛ-0,4 кВ для питания ВРУ. Результаты приведены в таблице 3» [3].

Таблица 3 – Результаты выбора сечения силовых кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ ТРК

Наименование потребителя ТРК	Ток участка		$I_{доп},$ А	$F_{ст},$ мм <sup>2</sup>	$I'_{доп},$ А	$I'_{доп.н},$ А
	$I_{р.н},$ А	$I_{р.н},$ А				
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	134,3	241,6	219	95	188,3	251,9

Продолжение таблицы 3

Наименование потребителя ТРК	Ток участка		$I_{доп}$ , А	$F_{ст}$ , мм <sup>2</sup>	$I'_{доп}$ , А	$I'_{доп.н}$ , А
	$I_{р.н}$ , А	$I_{р.н}$ , А				
Системы жизнеобеспечения ТРК	220,9	397,5	359	240	308,7	412,9
Пиццерия с кафе и магазином	124,3	223,6	219	95	188,3	251,9
Спортивно – развлекательный комплекс	96,8	174,3	153	50	131,6	175,9
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	335,2	603,5	2× 314	2× 185	540,1	722,2
Продовольственный супермаркет	218,8	393,8	359	240	308,7	412,9
Непродовольственный супермаркет	102,9	185,1	184	70	158,2	211,6
Торговые площади, сдающиеся в аренду	35,7	64,1	60	10	51,6	69,0

Все выбранные кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ соответствуют требуемым условиям выбора и проверок. Они показаны также в графической части работы, включая узлы монтажа питающей сети 0,38/0,22 кВ в железобетонных каналах проектируемой СЭС ТРК.

## 2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения торгово-развлекательного комплекса является ключевым аспектом обеспечения его электрической безопасности и надежности.

Данная задача представляет собой комплексное исследование, цель которого – определение потенциальных токов короткого замыкания на различных участках электрической сети объекта.

Основная цель расчёта токов короткого замыкания заключается в обеспечении адекватной защиты электрооборудования и предотвращении рисков для здоровья и жизни людей. Точное знание максимально возможных токов короткого замыкания позволяет правильно подобрать защитное оборудование, такое как автоматические выключатели и предохранители, которые должны надёжно срабатывать в случае возникновения короткого замыкания, минимизируя тем самым возможные повреждения и обеспечивая быстрое восстановление после аварий.

Задачи, связанные с расчётом токов короткого замыкания, включают анализ конфигурации и характеристик электросети комплекса, определение наиболее уязвимых точек сети, где вероятность возникновения короткого замыкания наиболее высока. Также важно учитывать взаимодействие различных участков сети и способы их влияния друг на друга при возникновении короткого замыкания. Это требует использования современных методов моделирования и симуляции электрических сетей, что позволяет оценить не только статические, но и динамические характеристики системы при различных режимах работы.

В процессе расчётов важно также учитывать последствия коротких замыканий, такие как возможное тепловое воздействие на кабельные системы и другие элементы инфраструктуры, что может требовать дополнительных мер по обеспечению пожарной безопасности и защиты сети от перегрузок.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания является неотъемлемой частью процесса проектирования и эксплуатации торгово-развлекательных комплексов, направленной на минимизацию рисков и обеспечение высокой степени защиты и безопасности как для электрооборудования, так и для пользователей данного объекта.

«Для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения проектируемого ТРК, составляется расчётная схема и схема замещения для данного участка сети (рисунок 4)» [10].

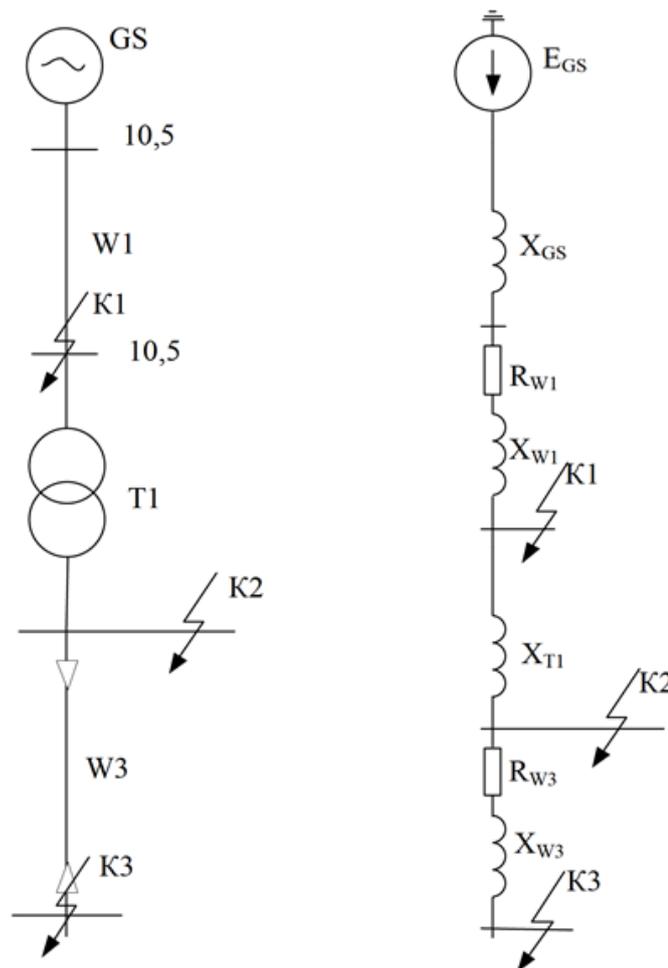


Рисунок 4 – «Однолинейная расчетная схема и схема замещения сети» [10]

«Базисный ток» [10]:

$$I_B = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (36)$$

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

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

«Индуктивное сопротивление кабельной линии» [10]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (37)$$

«Активное сопротивление кабельной линии» [10]:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (38)$$

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

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

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

«Аналогично для кабельной линии W3» [10]:

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

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

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

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}, \quad (39)$$

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

«Расчёт токов КЗ при трёхфазном КЗ» [10]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (40)$$

«В расчётных точках К1-К3» [10]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}, \quad (41)$$

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

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

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}, \quad (42)$$

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

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

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}, \quad (43)$$

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

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{1}{0,698} \cdot 0,91 = 1,31 \text{ кА}.$$

«Ударный ток» [10]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (44)$$

где « $K_{y\partial}$  – значение ударного коэффициента» [10].

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётных точках» [10]:

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

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

$$I_{уд.кз} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,31 = 1,85 \text{ кА.}$$

«Расчет токов двухфазного короткого замыкания» [10]:

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (45)$$

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,14 = 1,85 \text{ кА,}$$

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13,38 = 11,59 \text{ кА,}$$

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,31 = 1,13 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов токов КЗ

Точка КЗ	U <sub>б</sub> , кВ	I <sub>б</sub> , кА	Z <sub>Σ</sub>	K <sub>уд</sub>	I <sup>(3)</sup> кА	I <sup>(2)</sup> кА	I <sub>уд</sub> , кА
К1	10,5	0,03	0,014	1,40	2,14	1,85	4,24
К2	0,4	0,91	0,068	1,00	13,38	11,59	18,92
К3	0,4	0,91	0,698	1,00	1,31	1,13	1,85

Полученные результаты токов КЗ используются в проектируемой СЭС ТРК далее.

## 2.7 Выбор и проверка коммутационной и защитной аппаратуры

Проводится выбор и проверка новых электрических аппаратов для обеспечения защиты и коммутации электрической сети в системе электроснабжения ТРК «Светлана».

Выбираются электрические аппараты напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ СЭС ТРК.

«Для защиты и коммутации питающей сети напряжением 10 кВ применяются высоковольтные выключатели, установленные в ячейках питающего РУ 10 кВ энергосистемы.

Выбор этих выключателей высокого напряжения проводится по номинальным параметрам напряжения и рабочего тока» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (46)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (47)$$

«Проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (48)$$

Проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [18]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (49)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}. \quad (50)$$

«Проверка на электродинамическую устойчивость» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (51)$$

«Проверка на термическую стойкость по тепловому импульсу» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (52)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (53)$$

Выбор выключателей 10 кВ представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор высоковольтных выключателей 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя марки LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 231,2 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 4,24 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 2,14^2 \cdot 0,1 = 0,46 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 4,24 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Выбирается трансформатор тока 10 кВ для установки в ячейке питающего РП-10 кВ марки ТПОЛМ-10 (таблица 6).

Таблица 6 – Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТПОЛМ-10
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 231,2 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 4,24 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 2,14^2 \cdot 0,1 = 0,46 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$

«Выбор выключателя нагрузки 10 кВ представлен в таблице 7» [10].

Таблица 7 – Выбор выключателя нагрузки 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/400-10-У3
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 231,2 \text{ А}$	$I_n = 400 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 4,24 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 25 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 2,14^2 \cdot 0,1 = 0,46 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

Выбор предохранителей для ТП-10/0,4 кВ приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор высоковольтных предохранителей

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные предохранителя ПК103-10-100-31,5/У3
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 231,2 \text{ А}$	$I_{н.вст} = 100 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 4,24 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 100 \text{ кА}$

$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 2,14^2 \cdot 0,1 = 0,46 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$
----------------------	--	--

Продолжение таблицы 8

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные предохранителя ПК103-10-100-31,5/У3
$I_{ном.вык} > I_{кл}$	$I_{кл} = 2,14 \text{ кА}$	$I_{ном.в} = 31,5 \text{ кА}$

Для защиты и коммутации сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения объекта, предлагается использовать автоматические выключатели с тепловыми и электромагнитными расцепителями.

Автоматические выключатели играют важную роль в системе защиты электрической сети ТРК «Светлана», обеспечивая безопасность и надежность электроснабжения.

Для защиты и коммутации питающей сети выбираются трёхфазные трёхполюсные автоматические выключатели марки ВА [2].

Преимущества использования таких современных автоматических выключателей для защиты электрической сети 0,38/0,22 кВ ТРК «Светлана» включают:

- быстрое реагирование: автоматические выключатели способны быстро отключать питание в случае возникновения неисправностей или коротких замыканий, предотвращая дальнейшее повреждение электрооборудования и уменьшая риск пожара;
- селективность (избирательность) защиты: автоматы могут быть настроены на селективное отключение только той части электрической сети, где возникло повреждение, не затрагивая работу остальной части сети, что позволяет минимизировать время простоя и уменьшить потери электроэнергии;
- надежность: автоматические выключатели проверяются на прочность и надежность в соответствии с международными стандартами, что гарантирует их долгий срок службы и высокий уровень защиты электрической сети;

- удобство в эксплуатации: современные автоматы могут быть оснащены дистанционным управлением и контролем, что позволяет управлять ими из центрального пункта управления и мониторинга, упрощая эксплуатацию и обслуживание электрооборудования;
- экономия: автоматические выключатели помогают снизить расходы на обслуживание электрической сети, так как они предотвращают повреждения оборудования и минимизируют время простоя.

Таким образом, использование современных автоматических выключателей для защиты электрической сети 0,38/0,22 кВ ТРК «Светлана» обеспечивает высокий уровень безопасности и надежности электроснабжения, улучшает качество обслуживания и помогает сократить расходы на эксплуатацию электрооборудования.

Приводится методика выбора выключателей.

Ток срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя по формуле [19]:

$$I_{mp(расц.)} \geq 1,2 \cdot I_i, A, \quad (54)$$

где  $I_i$  – ток соответствующего режима работы выключателя (нормального или послеаварийного). Выбирается большее значение тока.

Условия выбора автоматических выключателей [19]:

$$I_{mp} \leq I_{наг}, A, \quad (55)$$

$$I_{mp} \geq I_{mp(расц.)}, A. \quad (56)$$

Таким образом, основное условие выбора автомата состоит в том, чтобы номинальный ток автомата и ток уставки теплового расцепителя были больше, чем соответствующие расчётные токи нагрузки в сети [19].

Проводится выбор автомата для применения на вводной линии 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ (автомат ввода ТП).

Результаты – в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор автомата ввода питающей ТП-10/0,4 кВ СЭС ТРК

Условие	Параметры электрической сети	Каталожные данные автомата ВА55-43
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 380 В$	$U_{ном.а} = 380 В$
$I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = K_{рез} I_{ном.т} =$ $= 1,4 \cdot 969,2 = 1356,9 А$	$I_{ном.а} = 1600 А$
$I_{ном.р} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.р} = K_{рез} I_{ном.т} =$ $= 1,4 \cdot 969,2 = 1356,9 А$	$I_{ном.р} = 1600 А$
$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 1600 А$	$I_{ном.р} = 1600 А$
$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_{\phi}$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 1356,9 =$ $= 1492,6 А$	$I_{у.т.р} = 1600 А$
$I_{у.э.р} \geq 6 - 10 \cdot I_{ном.т}$	$10 \cdot I_{ном.т} = 10 \cdot 969,2 = 9692 А$	$I_{у.э.р} = 10000 А$
$I_{ном.выкл} \geq I_{к}$	$I_{к,2} = 13,38 кА$	$I_{ном.выкл} = 45 кА$

Окончательно принимается выбранный ранее автомат ввода питающей ТП-10/0,4 кВ марки ВА55-43 с номинальными параметрами:

$$I_{ном.а} = 1600 А,$$

$$I_{ном.р} = 1600 А,$$

$$I_{у.т.р} = 1600 А,$$

$$I_{у.э.р} = 10000 А,$$

$$I_{ном.выкл} = 45 кА.$$

Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации питающей сети 0,38/0,22 кВ СЭС ТРК «Светлана» представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации питающей сети СЭС ТРК «Светлана»

Наименование линии	$I_p$ , А	Параметры автомата				
		Марка	$I_{ном.а}$ , А	$I_{у.т.р.}$ , А	$I_{у.с.р.}$ , А	$I_{в.а.}$ , кА
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	241,6	ВА 52-35	250	400	2400	32
Системы жизнеобеспечения ТРК	397,5	ВА 52-34	400	630	2400	32
Пиццерия с кафе и магазином	223,6	ВА 52-35	250	250	2400	32
Спортивно – развлекательный комплекс	174,3	ВА 52-35	250	250	1800	32
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	603,5	ВА 52-39	630	800	1800	55
Продовольственный супермаркет	393,8	ВА 52-34	400	630	3600	32
Непродовольственный супермаркет	185,1	ВА 52-35	250	250	3000	32
Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	64,1	ВА 52-35	100	120	3000	32

Выбор низковольтных предохранителей.

Предохранители типа ПН – 2 устанавливаются во ВРУ потребителей.

Выбор предохранителей для торгово-развлекательного комплекса является важной задачей, целью которой является обеспечение надежной защиты электрических сетей и подключенного оборудования от перегрузок и коротких замыканий. Предохранители играют критическую роль в поддержании безопасности электрической инфраструктуры, предотвращая возможные аварии и минимизируя риск пожаров, что особенно важно в местах с высокой концентрацией людей и значительными материальными ценностями.

Задачи, связанные с выбором предохранителей, включают определение необходимой номинальной токовой нагрузки и характеристик отключения. Это требует точного понимания токовых профилей всех секций электросети торгово-развлекательного комплекса, включая те участки, которые испытывают повышенные нагрузки в определенные часы или периоды.

Анализ должен учитывать как регулярные рабочие условия, так и потенциальные аварийные ситуации, что позволяет выбрать предохранители с соответствующими характеристиками отключения для каждой конкретной задачи.

Помимо номинальных характеристик, важно выбрать тип предохранителя, который лучше всего подходит для конкретного применения. Существуют различные типы предохранителей, включая плавкие вставки, автоматические выключатели и электронные защитные устройства, каждый из которых имеет свои преимущества в определенных условиях эксплуатации. Например, в сетях, где требуется быстрое реагирование на короткие замыкания, могут быть предпочтительнее высокоскоростные предохранители.

Выбор предохранителей также должен учитывать требования местных электротехнических норм и стандартов безопасности.

Это обеспечивает не только соответствие всей системы электроснабжения законодательным требованиям, но и повышает общую надежность электроустановки.

В конечном счете, правильно подобранные предохранители помогают минимизировать операционные риски и улучшить общую производительность системы электроснабжения, обеспечивая непрерывное и безопасное электропитание критически важных участков торгово-развлекательного комплекса. Это способствует созданию безопасной и комфортной среды для посетителей и персонала, а также снижает вероятность финансовых потерь из-за возможных технических сбоев.

«Основным элементов предохранителя является калиброванная стандартная плавкая вставка, выбор тока уставки которой,  $I_{\sigma}$ , А» [4]:

$$I_{\sigma} \geq I_{p.н}, \quad (57)$$

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

«Проверка вставки в послеаварийном режиме работы, А» [4]:

$$I_{\epsilon} \geq I_p^{нав} / k, \quad (58)$$

где « $k = 1,4$  – нормируемый коэффициент отстройки» [4].

«Проверка патрона по отключающей способности, А» [4]:

$$I_{np.откл} \geq I_{к2''}, \quad (59)$$

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

«Проводится выбор и проверка предохранителей ВРУ СТО ТРК» [4].

$$200 \text{ А} > 134,3 \text{ А},$$

$$200 \text{ А} > \frac{241,6}{1,4} = 172,6 \text{ А},$$

$$40 \text{ кА} > 14,79 \text{ кА}.$$

«Выбирается предохранитель марки ПН-250 с  $I_{np} = 250 \text{ А}$  и  $I_{\epsilon} = 200 \text{ А}$  для ВРУ СТО. Выбор предохранителей представлен в таблице 11» [4].

Таблица 11 – Выбор низковольтных предохранителей для установки во ВРУ потребителей проектируемого ТРК

Потребитель	$I_p^n$ , А	$I_p^{нав}$ , А	$I_{\epsilon}$ , А	$I_{np}$ , А	$I_{np.откл}$ , кА
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	134,3	241,6	200	250	40
Системы жизнеобеспечения ТРК	220,9	397,5	315	400	25
Пиццерия с кафе и магазином	124,3	223,6	160	250	40
Спортивно – развлекательный комплекс	96,8	174,3	125	250	40
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	335,2	603,5	500	630	25
Продовольственный супермаркет	218,8	393,8	315	400	25
Непродовольственный супермаркет	102,9	185,1	160	250	40
Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	35,7	64,1	50	100	50

Все выбранные электрические аппараты отвечают установленным требованиям и нормам проверок.

Выводы по разделу.

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения гражданских сооружений, проведён выбор решений по проектированию системы электроснабжения торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург.

Внешнее электроснабжение ТРК «Светлана» осуществляется от трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Оренбурга, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 0,4 кВ.

Последующее распределение электроэнергии на территории ТРК «Светлана» осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, питающего СРШ и ШРО (в работе детально не рассматривается).

При этом в питающей сети 0,4 кВ для каждого помещения используется своё ВРУ-0,4 кВ. Кроме того, отдельные ВРУ применяются для освещения:

- наружного;
- первого этажа;
- цокольного этажа.

От них питаются непосредственно потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Так как ТРК «Светлана» относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности, а также ремонтпригодности и безопасности. Поэтому на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения. Известно, что такие схемы являются наиболее надёжными и подходят для питания электроприёмников II категории.

Проведён расчёт электрических нагрузок проектируемой СЭС ТРК. Рассчитаны нагрузки на вводе ВРУ потребителей, а также суммарная нагрузка всего объекта исследования (с учётом силовой и осветительной нагрузки).

Для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК выбраны и проверены два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10.

В результате проведения расчётов установлено, что компенсировать реактивную мощность на шинах 0,38/0,22 кВ нет необходимости.

Согласно принятой схеме системы электроснабжения ТРК, выбраны и проверены:

- сечение питающей кабельной линии напряжением 10 кВ (от РП-10 кВ до РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ) – принято стандартное сечение кабеля марки АСБ-10 (3×25), прокладка – в железобетонных каналах;
- сечения питающей кабельной линии напряжением 0,4 кВ (от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ до ВРУ-0,4 кВ) – выбраны силовые алюминиевые негорючие кабели марки АВВГнг различных сечений, прокладка – в железобетонных каналах.

На питающей подстанции 10/0,4 кВ в качестве аппаратов защиты и коммутации на стороне ВН выбраны выключатели нагрузки марки ВНПУ-10/400-10-УЗ, плавкие предохранители марки ПК103-10-100-31,5/УЗ, а на стороне НН – автоматы ввода, секционный и линейные автоматы, а также плавкие предохранители марки ПН.

На питающем РП-10 В выбраны и проверены выключателя марки LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41, а также ТТ марки ТПОЛМ-10.

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

#### **3.1 Мероприятия по охране труда и технике безопасности в системе электроснабжения ТРК**

Проводится выбор мероприятий по охране труда и технике безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТРК «Светлана» [7].

Известно, что мероприятия по охране труда и технике безопасности в системе электроснабжения торгово-развлекательного комплекса являются фундаментальным аспектом управления электроустановками и направлены на минимизацию рисков для здоровья и жизни работников, а также посетителей объекта.

Обеспечение безопасности в системе электроснабжения включает в себя ряд комплексных мероприятий, начиная от проектирования и установки оборудования до его эксплуатации и технического обслуживания.

На стадии проектирования и инсталляции оборудования особое внимание уделяется соответствию всех элементов системы существующим нормативным требованиям безопасности. Важно применение только сертифицированных и проверенных материалов и компонентов, которые обладают необходимыми характеристиками по надежности и безопасности.

Разработка системы должна включать анализ возможных рисков, таких как короткое замыкание, перегрузка по току, потеря напряжения и другие аварийные ситуации, что позволяет заранее предусмотреть необходимые защитные меры.

Обучение персонала технике безопасности является ключевым элементом обеспечения безопасной работы системы электроснабжения. Все сотрудники, работающие с электрическими установками, должны проходить регулярное обучение и инструктажи по охране труда, а также иметь

возможность пользоваться современными средствами индивидуальной защиты.

Программы обучения должны включать разбор типичных и потенциальных нештатных ситуаций, методы предотвращения аварий и действия в чрезвычайных условиях.

Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации торгово-развлекательного комплекса необходимо проводить регулярные технические осмотры и техническое обслуживание всех компонентов системы электроснабжения. Это включает проверку изоляции, состояние соединений, работоспособность защитного оборудования и исправность устройств автоматики.

Плановое обслуживание помогает выявлять и устранять потенциальные неисправности до того, как они приведут к серьезным последствиям.

Проведение регулярных аудитов системы электроснабжения позволяет не только контролировать соблюдение требований техники безопасности, но и оценивать эффективность принимаемых мер по охране труда. Мониторинг работы электроустановок в реальном времени с использованием современных систем диагностики и мониторинга способствует своевременному обнаружению отклонений в работе оборудования и предотвращению аварийных ситуаций.

Неотъемлемой частью системы мер по охране труда является разработка и реализация планов действий на случай аварийных ситуаций. Этот аспект включает создание четких инструкций для персонала по эвакуации, использованию средств пожаротушения и взаимодействию с экстренными службами.

Таким образом, комплексный подход к обеспечению охраны труда и техники безопасности в системе электроснабжения торгово-развлекательного комплекса позволяет создать безопасную среду для всех пользователей объекта, минимизируя риски для здоровья и жизни людей и обеспечивая высокий уровень эксплуатационной надежности всех систем и оборудования.

Описанные мероприятия соответствуют требованиям [7] и рекомендуются к применению в СЭС ТРК.

### **3.2 Расчёт контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК**

Проводится расчёт контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК в системе электроснабжения ТРК «Светлана».

Расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ торгово-развлекательного комплекса является критически важной задачей, обеспечивающей безопасность электроустановок и предотвращающей возможные риски для здоровья и жизни людей.

Известно, что контур заземления представляет собой систему, предназначенную для отвода тока утечки и тока короткого замыкания в землю, тем самым обеспечивая защиту от электрического удара, повреждения оборудования и снижение помех в электрических сетях.

Основная цель расчёта контура заземления заключается в создании безопасной и надёжной системы заземления, которая сможет эффективно рассеивать электрические заряды в землю без создания опасного напряжения на поверхности земли и в зоне доступа людей. Расчёт должен учитывать максимально возможные токи короткого замыкания и обеспечивать низкое сопротивление заземления для минимизации шагового и касательного напряжений.

Исправно функционирующий контур заземления жизненно необходим для предотвращения электрических аварий, которые могут привести к пожарам, взрывам или электрическим ударам. В условиях торгово-развлекательного комплекса, где концентрация людей и электротехнического оборудования особенно высока, надёжность заземляющей системы напрямую связана с общей безопасностью объекта.

«Проводится расчёт заземления ТП-10/0,4 кВ проектируемого ТРК.

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» [9].

«Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей, Ом» [9]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (60)$$

$$\rho_{p.g} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.g}, \quad (61)$$

где « $\rho_{y\delta}$  – удельное сопротивление грунта (для суглинка), Ом;

$K_{n.z}$  и  $K_{n.g}$  – коэффициенты использования электродов» [9].

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

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

«Для стержневого вертикального заземлителя» [9]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left( \lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (62)$$

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

«Число вертикальных заземлителей» [9]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{шт.} \quad (63)$$

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

«Принимается  $N = 27$  шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов» [9]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{Ом.} \quad (64)$$

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

Сопротивление вертикальных заземлителей контура:

$$R_{в.з.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{Ом.} \quad (65)$$

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

«Уточненное число вертикальных заземлителей» [9]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{шт.}, \quad (66)$$

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

«Принимается 25 заземлителей.

Сопротивление вертикальных заземлителей» [9]:

$$R_{в.е} = \frac{R_B}{K_{и.е} \cdot N}, Ом. \quad (67)$$

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

«Общее сопротивление заземлителей» [9]:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, Ом. \quad (68)$$

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

«Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ТП-10/0,4 кВ проектируемого ТРК двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов)» [9].

Выводы по разделу.

Проведён выбор мероприятий по охране труда и технике безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТРК «Светлана».

Установлено, что комплексный подход к обеспечению охраны труда и техники безопасности в системе электроснабжения торгово-развлекательного комплекса позволяет создать безопасную среду для всех пользователей объекта, минимизируя риски для здоровья и жизни людей и обеспечивая высокий уровень эксплуатационной надежности всех систем и оборудования.

Рассчитан контур заземления питающей ТП-10/0,4 кВ СЭС ТРК, состоящий из двадцати пяти вертикальных электродов.

Описанные мероприятия рекомендуются к применению в СЭС ТРК.

## Заключение

В работе проведена разработка проекта системы электроснабжения торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург. Данная работа обусловлена необходимостью ввода в эксплуатацию объекта исследования.

Рассмотрены исходные информационно-технические данные, необходимые для проектирования системы электроснабжения ТРК «Светлана» г. Оренбурга.

Установлено, что данный объект относится ко II категории надёжности. Он состоит из цокольного и первого этажей, на которых расположено восемь помещений, занимающих суммарную площадь 2508 м<sup>2</sup>, относящихся также ко II категории надёжности и, таким образом, требующих двух независимых источников питания.

Суммарная установленная мощность системы электроснабжения ТРК «Светлана» г. Оренбурга составляет 1537 кВт.

Для качественного проектирования ТРК «Светлана» рассмотрены нормы проектирования систем электроснабжения общественных гражданских объектов, к которым относится рассматриваемый в работе ТРК.

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения гражданских сооружений, проведён выбор решений по проектированию системы электроснабжения торгово-развлекательного комплекса «Светлана» г. Оренбург.

Внешнее электроснабжение ТРК «Светлана» осуществляется от трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Оренбурга, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 0,4 кВ.

Последующее распределение электроэнергии на территории ТРК «Светлана» осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, питающего СРШ и ШРО (в работе детально не рассматривается).

При этом в питающей сети 0,4 кВ для каждого помещения

используется своё ВРУ-0,4 кВ. Кроме того, отдельные ВРУ применяются для освещения:

- наружного;
- первого этажа;
- цокольного этажа.

От них питаются непосредственно потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Так как ТРК «Светлана» относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности, а также ремонтпригодности и безопасности. Поэтому на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения. Известно, что такие схемы являются наиболее надёжными и подходят для питания электроприёмников II категории.

Проведён расчёт электрических нагрузок проектируемой СЭС ТРК. Рассчитаны нагрузки на вводе ВРУ потребителей, а также суммарная нагрузка всего объекта исследования (с учётом силовой и осветительной нагрузки).

Для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ ТРК выбраны и проверены два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10.

В результате проведения расчётов установлено, что компенсировать реактивную мощность на шинах 0,38/0,22 кВ нет необходимости.

Согласно принятой схеме системы электроснабжения ТРК, выбраны и проверены:

- сечение питающей кабельной линии напряжением 10 кВ (от РП-10 кВ до РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ) – принято стандартное сечение кабеля марки АСБ-10 (3×25), прокладка – в железобетонных каналах;
- сечения питающей кабельной линии напряжением 0,4 кВ (от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ до ВРУ-0,4 кВ) – выбраны силовые алюминиевые

негорючие кабели марки АВВГнг различных сечений, прокладка – в железобетонных каналах.

На питающей подстанции 10/0,4 кВ в качестве аппаратов защиты и коммутации на стороне ВН выбраны выключатели нагрузки марки ВНПУ-10/400-10-УЗ, плавкие предохранители марки ПК103-10-100-31,5/УЗ, а на стороне НН – автоматы ввода, секционный и линейные автоматы, а также плавкие предохранители марки ПН.

На питающем РП-10 В выбраны и проверены выключателя марки LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41, а также ТТ марки ТПОЛМ-10.

Проведён выбор мероприятий по охране труда и технике безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТРК «Светлана».

Установлено, что комплексный подход к обеспечению охраны труда и техники безопасности в системе электроснабжения торгово-развлекательного комплекса позволяет создать безопасную среду для всех пользователей объекта, минимизируя риски для здоровья и жизни людей и обеспечивая высокий уровень эксплуатационной надежности всех систем и оборудования.

Рассчитан контур заземления питающей ТП-10/0,4 кВ СЭС ТРК, состоящий из двадцати пяти вертикальных электродов.

Описанные мероприятия рекомендуются к применению в СЭС ТРК.

Таким образом, спроектированная система электроснабжения ТРК «Светлана» отвечает требованиям надёжности, экономичности, а также безопасности.

## Список используемых источников

1. Длительно допустимый ток кабеля ВВГнг LS. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.pinterest.com/pin/463870830372952509/> (дата обращения: 17.04.2024).
2. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
4. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
5. Многофункциональные торгово-развлекательные комплексы [Электронный ресурс]: URL: [http://zvt.abok.ru/articles/628/Mnogofunktsionalnie\\_Torgovo\\_razvlekatelnie\\_kompleksi](http://zvt.abok.ru/articles/628/Mnogofunktsionalnie_Torgovo_razvlekatelnie_kompleksi) (дата обращения: 17.04.2024).
6. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
7. 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.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
9. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
10. 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: 18.11.2023).
11. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и

городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

14. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 17.04.2024).

15. 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](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: 17.04.2024).

16. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 17.04.2024).

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 17.04.2024).

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.