

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 комплекса «Водолей 2»
в г. Тольятти

Студент

С.А. Фандеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, В.Н. Кузнецов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2» в г. Тольятти.

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений;
- непосредственная разработка системы электроснабжения проектируемого торгового комплекса с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов;
- разработка технических и организационных мероприятий по технике безопасности и охране труда.

В результате выполнения работы осуществлена разработка системы электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2», расположенного в г. Тольятти, в которой обеспечены установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Данная работа включает пояснительную записку объемом 68 страниц, содержащую 3 рисунка и 13 таблиц, графическую часть на шести листах формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is Designing power supply system for the shopping center "Vodoley 2", Togliatti.

The senior thesis consists of an explanatory note on 68 pages, an introduction, including 3 figures, 13 tables, the list of 29 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of this graduation project is development of power supply systems and equipment, electricity nets in the shopping center.

The object of the graduation work is shopping center «Vodoley 2» in Togliatti. It has a lot of facilities there, among them car service and repair station, pizzeria, sports and entertainment complex, bakery, grocery store, some shops.

The aim of this graduation project is development of power supply systems and equipment, electricity nets in the shopping center.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are analysis of the initial data on the object of research based on theoretical aspects; development of the power supply system at the shopping center with the choice of the power supply scheme, electrical networks and devices; development of technical and organizational measures for safety and labor protection.

Much attention is given to electrical safety and environmental friendliness. To complete this task grounding contour was calculated.

In conclusion we'd like to stress that we designed the power supply system for the shopping center "Vodoley 2" in Togliatti. The proposed power supply system is reliable, economical, safe and environmentally friendly, meets the requirements of modern standard and technical regulations.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Требования нормативных документов к системе электроснабжения торгового комплекса.....	7
1.2 Характеристика потребителей проектируемого торгового комплекса .	13
1.3 Характеристика источников питания проектируемого торгового комплекса.....	15
2 Разработка системы электроснабжения.....	18
2.1 Выбор схемы электроснабжения.....	18
2.2 Расчет электрических нагрузок	21
2.3 Выбор трансформаторов ТП.....	26
2.4 Выбор компенсирующих устройств на ТП.....	28
2.5 Выбор и проверка сечения проводников.....	30
2.6 Расчет токов короткого замыкания и проверка сечения кабелей 10 кВ на термическую стойкость	37
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	44
2.8 Разработка комплекса мероприятий по минимизации потерь активной мощности	52
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	57
3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности.....	57
3.2. Расчёт контура заземления ТП проектируемого торгового комплекса	60
Заключение	64
Список используемых источников.....	666

Введение

Системы электроснабжения торговых объектов являются важным звеном энергетики страны.

Также, как и к промышленным потребителям, к ним предъявляются важнейшие требования нормативных документов, которые необходимо непосредственно реализовать на стадии проектирования.

В представленной работе осуществлено проектирование системы электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2», расположенного в г. Тольятти.

Объект исследования в работе – система электроснабжения проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» в г. Тольятти.

Предмет исследования в работе – схема электроснабжения, электрические сети, аппараты и оборудование системы электроснабжения проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» в г. Тольятти.

Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым системам электроснабжения, а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности новых объектов, проектируемых и вводимых в эксплуатацию.

Структура работы представлена тремя разделами, в которых изложен весь основной материал проведённых исследований, а именно:

- в первом разделе работы приведены характеристики приёмников проектируемого торгового комплекса и источников питания, включающих характеристику потребителей проектируемого торгового комплекса, а также характеристику энергосистемы для питания проектируемого торгового комплекса; кроме того, рассматриваются основные требования нормативных документов к системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса;
- во втором разделе осуществляется непосредственная разработка

системы электроснабжения данного торгового комплекса, представленная выбором схемы электроснабжения, расчетом электрических нагрузок, выбором и проверкой трансформаторов питающей подстанции с детальным описанием её конструктивного выполнения, выбором сечения проводников и электрических аппаратов, разработкой комплекса мероприятий по минимизации потерь активной мощности в системе электроснабжения торгового комплекса;

- в третьем разделе работы рассмотрены вопросы электробезопасности и экологические вопросы, а также выполнен непосредственный расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции проектируемого торгового комплекса.

В результате выполнения работы разрабатывается система электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2», расположенного в г. Тольятти, в которой должны неукоснительно соблюдаться установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Все исследования в работе проводятся, исходя из нормативно – технических источников с непосредственным использованием технической литературы.

1 Анализ исходных данных

1.1 Требования нормативных документов к системе электроснабжения торгового комплекса

Электрические сети современных торговых объектов (в частности, проектируемого торгового комплекса) являются важнейшим звеном системы электроснабжения. Поэтому они требуют особенно повышенных требований к надёжности и электробезопасности при осуществлении проектирования, а также при выполнении работ, связанных с монтажом, эксплуатацией и ремонтом.

Основные требования нормативных документов к системе электроснабжения заключаются в неукоснительном выполнении следующих условий [5,12-14]:

- максимальная близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания;
- сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой, при необходимости, устройств автоматики, обеспечивающих резервирование (например, АВР);
- обеспечение оптимального режима работы спроектированной системы электроснабжения (рекомендуется отдельный режим работы секций при установке двух трансформаторов или иных источников);
- обеспечение необходимой надёжности потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I и II категорий в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах;
- обеспечение наглядности, безопасности и необходимой степени защиты и автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения;

- выбранные схемы должны обеспечивать установленное нормируемое качество электрической энергии, находящихся в жёстких лимитированных пределах установленных нормально – допустимых значений.

Известно, что все потребители электроэнергии условно делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надежности электроснабжения. Согласно этому, необходимо провести разделение объектов торгового комплекса «Водолей 2» на категории надёжности.

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные объекты, требующие повышенных условий к системе электроснабжения с обеспечением резервирования и автоматики. К потребителям II категории относятся объекты, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс. К потребителям III категории относятся все остальные объекты и подразделения, не принимающие непосредственного участия в основном технологическом процессе.

При этом для питания потребителей I и II категорий надёжности требуется два независимых источника питания, а для питания потребителей III категории достаточно иметь один источник.

Современные электрические сети современных торговых объектов (в частности, проектируемого торгового комплекса), как правило, выполняются воздушными или кабельными линиями электропередачи. При этом, как известно, воздушные линии не применяются в населённых пунктах [8,11].

Применение кабельных линий имеет ряд преимуществ по сравнению с воздушными линиями, а именно: надёжность, безопасность, экологичность, удобство обслуживания [14].

Электрические сети проектируются и питаются по типичным электрическим схемам с учётом категорий надёжности питаемых потребителей.

Как правило, источниками питания для отечественных современных торговых объектов малой и средней установленной мощности являются понижающие трансформаторные подстанции энергосистемы с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ с установленными на них двумя силовыми трансформаторами (для I и II категорий надёжности) или одним трансформатором (для III категорий надёжности).

Известно также, что электрические сети современных торговых объектов могут быть выполнены по радиальной, магистральной или смешанной схемам [4,13,14].

Нужная схема выбирается, исходя из критериев надёжности и мощности питаемых потребителей.

Поэтому при проектировании систем электроснабжения современных торговых объектов на всех звеньях цепи очень важно учесть все указанные нормы [4,5,17].

Особенно влияет на показатели системы электроснабжения уровень и качество компенсации реактивной мощности [4,5,13,14].

Как известно, при переменном токе потребителям передается электроэнергия в виде двух составляющих: активной и реактивной.

При этом обе они производятся электростанциями системы, требующие для этого определенного количества конкретного вида топлива.

Это обусловлено тем, что электроэнергия представляет собой совокупность энергии тока, протекающего по токоведущих частях электроэнергетической системы и электромагнитного поля, обязательно сопровождает протекания тока.

Но известно также, что электроприёмники превращают в полезные виды энергии только активную составляющую электроэнергии, а ее реактивная составляющая становится балластом для энергосистемы.

Она дважды за период изменения тока выполняет колеблющийся движение между генераторами электростанций и потребителями [4,13,14].

Таким образом, запасы реактивной энергии в электромагнитном поле составных частей энергосистемы остаются неизменными, а работа от неё в полный период переменного тока равна нулю [5].

Процессы накопления и отдачи энергии в элементах с индуктивностью и емкостью сдвинуты по направлению на 180° .

Элементы системы с индуктивностью условно называют потребителями реактивной энергии, а элементы с емкостью - ее генераторами.

Именно поэтому элементы с индуктивностью условно считаются «потребителями» реактивной электроэнергии, а элементы с емкостью - ее «источниками» [4,5].

Таким образом, потребителями реактивной энергии условно считаются все электрические устройства, ток которых отстает по фазе от напряжения на их зажимах.

То есть, это устройства, обладающие индуктивностью.

Электрические устройства, ток которых опережает по фазе напряжение на их зажимах, считаются «источниками» реактивной энергии.

Несмотря на такую условность, относительно реактивной мощности и энергии применяются такие же понятия, как и к активной мощности и энергии: генерация, потребления, передача, баланс, резерв, дефицит и т.д.

Они используются для освещения условий нормальной работы, планирование и регулирования режимов электрических станций и сетей.

Реактивная энергия является балластом в системе электроснабжения, так, как в другие полезные формы энергии она при нормальных условиях не превращается, а только уменьшает пропускную способность сетей и увеличивает потери активной энергии и напряжения в элементах сети.

Если реактивные элементы с сопротивлением противоположного характера включить вместе в одной точке сети, то при наличии напряжения на этих элементах, они начнут обмениваться реактивной энергией между

собой. Такой колеблющийся процесс обмена реактивной энергией называют компенсацией реактивной нагрузки сети.

Она происходит на участке от точки включения этих реактивных элементов к генераторам электростанций.

При этом увеличивается пропускная способность такого участка для активной энергии, уменьшаются ее потери, а также увеличивается уровень напряжения в этой точке [4,5].

В связи с описанными выше процессами, показано, что реактивную мощность необходимо компенсировать.

Этот процесс имеет государственное нормативно-правовое обеспечение и, прежде всего, напрямую связан с установленными нормативами и жёстко лимитирован [4,5,13,14].

Особенно важно реализовать его на стадии проектирования системы электроснабжения современных торговых объектов (в частности, данного торгового комплекса), поэтому в данной выполняемой работе необходимо обязательно выполнить расчёт и выбор мощности компенсирующих устройств.

В основном в сетях потребителя для компенсации реактивной мощности традиционно используются конденсаторные установки [5].

Высокие технико-экономические характеристики современных конденсаторов, из которых комплектуются конденсаторные батареи, привели к существенному росту их доли в общем количестве дополнительных источников реактивной мощности электроэнергетических систем.

Этому способствовала также способность к делению мощности конденсаторных батарей с помощью коммутационной аппаратуры на отдельные части – секции.

Такие электротехнические установки получили название конденсаторных установок (КУ).

В зависимости от места расположения дополнительных источников реактивной мощности различают индивидуальную, групповую и централизованную компенсацию реактивной мощности [5,14].

При индивидуальной компенсации КУ присоединяются под общий выключатель с мощными, хорошо нагруженными потребителями реактивной энергии, при групповой – источник реактивной мощности присоединяется в узловой точке системы электроснабжения (СЭС) группы потребителей, при централизованной – источник реактивной мощности устанавливается в точке присоединения к СЭП источники питания ее электроэнергией.

В электрических сетях до 1 кВ современных торговых объектов применяют все три вида компенсации реактивной мощности, а в электрических сетях выше 1 кВ – в основном групповую и централизованную.

При этом установленная мощность дополнительных источников реактивной мощности в соответствующей точке СЭС определяется экономическими расчётами с учетом того, что реактивная мощность может изменяться плавно.

Конденсаторная установка с номинальным напряжением конденсаторов до 1 кВ, в отличие от конденсаторов с напряжением выше 1 кВ, уменьшает потери активной мощности и увеличивает пропускную способность не только электрических сетей свыше 1 кВ, но и трансформаторов питающей подстанции ТП и сетей до 1 кВ, если они установленные непосредственно возле распределительных пунктов потребителей или около мощного одиночного потребителя.

Системный расчет реактивной мощности потребителей, определяющий оптимальное соотношение между реактивной мощностью, потребляемой потребителем от сетей энергосистемы и мощностью его компенсирующих устройств, является необходимым условием для любого потребителя.

При расчетах систем внешнего электроснабжения современных торговых объектов, необходимо знать входную реактивную мощность потребителя и мощность его компенсирующих устройств, а при расчетах

системы внутреннего электроснабжения – структуру этих устройств и мощность их отдельных составляющих.

Таким образом, с одной стороны – это величина, которая определяет экономические показатели работы потребителя, а с другой стороны – это условная величина, определяемая энергосистемой и задается каждому конкретному потребителю.

При проектировании систем электроснабжения эта величина указывается в технических условиях на проектирование или определяется специальным расчётом [4,5,13,14]. Она является «отправным пунктом» для расчетов мощности и структуры компенсации потребителя.

Одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей современных торговых объектов является экономичность системы электроснабжения [7,14].

Также на всех ступенях схемы должна быть обеспечена надёжная защита и коммутация электрической сети, для чего необходимо выбрать и проверить электрические аппараты, предварительно рассчитав токи короткого замыкания и ударные токи в расчётных точках схемы проектируемой электрической сети и проверив всё выбранное оборудование на термическую и электродинамическую стойкость [1,13,14].

В разрабатываемой схеме электрической сети современных торговых объектов (в частности, проектируемого торгового комплекса) должны быть соблюдены приведённые выше условия [4,12-14,17,18,24].

1.2 Характеристика потребителей проектируемого торгового комплекса

Проектируемый торговый комплекс «Водолей 2» предполагается соорудить на окраине г. Тольятти.

Согласно современным строительным требованиям и рекомендациям, а также в связи с рациональным использованием территории и технологических мощностей, принято решение соорудить торговый

комплекс в виде одного общего строения. При этом, по указанным выше причинам, также будет активно использоваться подвальное помещение, в котором, помимо трансформаторной подстанции ПС-10/0,4 кВ, питающей данное строение от энергосистемы, также будут находиться потребители.

В состав проектируемого современного торгового комплекса входят торговые потребители (пищевые и непищевые), размещённые на строго отведённых для этого площадках и территориях, а также станция обслуживания автомобилей, подземный паркинг и другие необходимые в современном мире коммуникации.

Кроме того, проектируемый торговый комплекс, согласно современных требований [4,12], должен быть оснащён полным комплексом современных систем жизнеобеспечения, размещённым в подвальном помещении.

Таким образом, значительно экономится пространство, которое может быть непосредственно задействовано под полезную площадь для размещения объектов.

Основными потребителями проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» 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.

Все указанные выше потребители проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти работают на переменном напряжении 380/220 В промышленной частоты 50 Гц.

Высоковольтных потребителей, согласно проекта, в проектируемом торговом комплексе «Водолей 2» г. Тольятти не предусмотрено. Характеристика потребителей проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика потребителей проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти

№ п/п	Наименование потребителя торгового комплекса	Установленная активная нагрузка (согласно проекта), $P_{уст.}$, кВт	Занимаемая площадь, м ²	Категория надежности потребителя
1	Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	171,0	864	II
2	Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	277,0	144	II
3	Пиццерия с кафе и магазином	156,0	180	II
4	Спортивно – развлекательный комплекс	123,0	168	II
5	Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	375,0	180	II
6	Продовольственный супермаркет	274,0	504	II
7	Непродовольственный супермаркет	115,0	216	II
8	Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	46,0	252	II

1.3 Характеристика источников питания проектируемого торгового комплекса

Источником питания проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти является распределительный пункт напряжением 10 кВ (РП-10 кВ), получающий питание от трансформаторной подстанции «МИС» 110/10/6 кВ (г. Тольятти), находящейся в непосредственной близости от строящегося

торгового комплекса, что минимизирует затраты на питающие линии, а также уменьшает потери электроэнергии в них и, таким образом, оптимизирует технические показатели ещё на стадии проектирования питающей сети.

Подстанция «МИС» напряжением 110/10/6 кВ располагается вблизи города Тольятти.

При этом потребляемые нагрузки данной подстанции постоянно растут вследствие подключения новых потребителей, что вызывает необходимость в строительстве новых подстанций и линий, а также реконструкции старых.

Конструктивно РП-10 кВ, питающий проектируемый торговый комплекс «Водолей 2» г. Тольятти, выполняется комплектным с использованием ячеек типа КРУ, в которых установлены выключатели высокого напряжения на выкатных элементах (тележках).

Применение ячеек типа КРУ позволяет отказаться от использования в схеме РП-10 кВ разъединителей за счёт применения втычных контактов, что является существенным преимуществом (упрощается схема, уменьшаются габариты без потери надёжности, создаётся видимый разрыв для безопасного проведения обслуживания и ремонта).

Схема РП-10 кВ выполнена с использованием схемы с применением одиночной секционированной системы сборных шин.

Аппаратом, обеспечивающим необходимый уровень резервирования схемы системы электроснабжения, является секционный высоковольтный выключатель с устройством АВР.

Схема питающего РП-10 кВ отвечает всем требованиям надёжности и экономичности и подходит для обеспечения питания проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти с соблюдением необходимых требований, предъявляемых ко II категории надёжности, к которой относится рассматриваемый торговый центр.

Выводы по разделу 1

В результате выполнения первого раздела работы осуществлено описание и приведена основная техническая характеристика приёмников торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти по следующим характеристикам и критериям:

- наименование потребителя и его краткая характеристика;
- установленная активная нагрузка (согласно проекта), кВт;
- занимаемая площадь, м²;
- категория надежности потребителей.

Приведена характеристика источника питания проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти (распределительный пункт напряжением 10 кВ, питающийся от ПС «МИС» 110/10/6 кВ (г. Тольятти)) с описанием схемы электроснабжения и конструктивного выполнения указанного источника питания.

Также детально рассмотрены требования нормативных документов, предъявляемые к системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса.

2 Разработка системы электроснабжения

2.1 Выбор схемы электроснабжения

В системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса выделяются внешняя и внутренняя системы электроснабжения.

Для каждой из них необходимо выбрать и обосновать схему электроснабжения.

Питание торгового комплекса осуществляется от энергосистемы на номинальном напряжении 10 кВ.

Так как суммарная установленная мощность потребителей (объектов) невелика, следовательно, в качестве питающей понизительной подстанции (ПС) принимается трансформаторная подстанция с высшим напряжением 10 кВ и низшим напряжением 0,4 кВ, т.е. ПС-10/0,4 кВ.

В работе принимается радиальная схема внешнего электроснабжения, так как на проектируемом торговом комплексе имеется значительное число потребителей I и II категории надёжности, требующих двух независимых источников питания по радиальной схеме.

По этой же причине в работе принимается двухтрансформаторная питающая понизительная ПС-10/0,4 кВ.

В послеаварийном режиме второй трансформатор должен принять на себя нагрузку первого трансформатора (с учётом отключения потребителей III категории надёжности), обеспечивая таким образом резервирование согласно требованиям [14].

Питание внешней системы электроснабжения торгового комплекса (а именно – ПС-10/0,4 кВ) осуществляется от энергосистемы двумя кабельными линиями напряжением 10 кВ, сечение которых выбираются и проверяются в работе далее.

Для этой цели применяется двухлучевая радиальная схема (без наличия ответвлений).

Такая схема электроснабжения полностью соответствует нормам и требованиям [4,12-14].

Кроме того, в схеме на питающей ПС-10/0,4 кВ принимается радиальная схема с необходимым уровнем резервирования на шинах низкого напряжения – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР). Выбранная схема внешнего электроснабжения проектируемого торгового комплекса, а также схема питающей ПС-10/0,4 кВ торгового комплекса, показаны на рисунке 1.

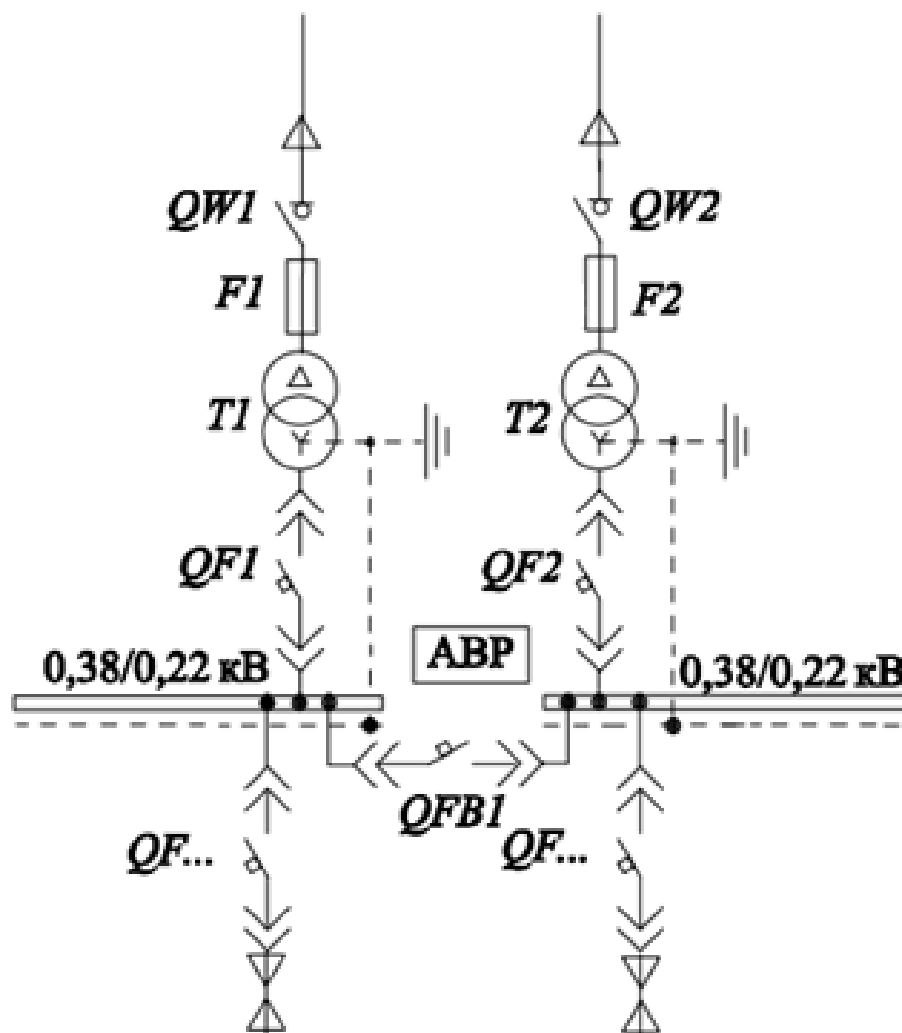


Рисунок 1 – Схема внешнего электроснабжения торгового комплекса и схема питающей ПС-10/0,4 кВ

Сеть внутреннего электроснабжения данного торгового комплекса для потребителей I и II категорий надёжности проектируется с наличием на питающей трансформаторной подстанции двух трансформаторов [4,12].

Сеть внутреннего электроснабжения, в свою очередь, разделяется на питающую и распределительную.

Питающая сеть – это сеть от шин питающей ПС-10/0,4 кВ до ВРУ потребителей (объектов).

В работе она выполняется по радиальной схеме.

Известно, что радиальная схема обладает рядом преимуществ (в частности, высокой надёжностью, а также удобством монтажа, эксплуатации и ремонта) [9,14].

От ВРУ потребителей получают питание распределительные щиты (РЩ) объектов, которые в данной работе не рассматриваются, так как являются пользовательскими (потребительскими) и формируются под каждого конкретного пользователя индивидуально [14].

Выбранная схема внешнего и внутреннего электроснабжения проектируемого торгового комплекса обеспечивает максимальную близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания, сквозное секционирование всех звеньев системы электроснабжения с установкой устройства автоматического включения резерва (АВР), оптимальный режим работы системы электроснабжения с раздельной работой секций при установке двух трансформаторов, необходимую надёжность электроснабжения потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I и II категорий в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах, а также наглядность, безопасность и необходимую степени защиты и автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения. В целом система электроснабжения всех объектов (потребителей) также отвечает всем требованиям надёжности и экономичности и подходит для обеспечения питания проектируемого торгового центра с соблюдением необходимых

требований, предъявляемых ко II категории надёжности, к которой относится торговый комплекс.

2.2 Расчет электрических нагрузок

Значение расчётной активной электрической нагрузки на вводе объектов проектируемого торгового комплекса, P_p , кВт [17]:

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

где $P_{уст.}$ – установленная проектная активная нагрузка объекта, кВт;

K_o – коэффициент одновременности [14,17].

Расчетная реактивная нагрузка объектов проектируемого торгового комплекса, Q_p , квар, [17]:

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

где $tg \varphi_o$ – коэффициент реактивной мощности [14].

Полная расчетная нагрузка объектов проектируемого торгового комплекса S_p , кВА [17]:

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

На примере СТО (станции технического обслуживания и ремонта автомобилей) проектируемого торгового комплекса:

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

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

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

Результаты расчетов остальных объектов проведены аналогично и сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчётные силовые нагрузки на вводе объектов (потребителей) проектируемого торгового комплекса

№ п/п	Наименование потребителя	$P_{уст}$, кВт	$tg \varphi$	$P_{p..}$, кВт	$Q_{p..}$, квар	$S_{p..}$, кВА
1	Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	171,0	0,27	171,0	45,6	176,7
2	Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	277,0	0,32	277,0	89,4	290,7
3	Пиццерия с кафе и магазином	156,0	0,32	156,0	49,4	163,5
4	Спортивно – развлекательный комплекс	123,0	0,26	123,0	32,3	127,4
5	Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	375,0	0,62	375,0	232,5	441,2
6	Продовольственный супермаркет	274,0	0,32	274,0	88,9	287,9
7	Непродовольственный супермаркет	115,0	0,62	115,0	71,3	135,3
8	Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	46,0	0,20	46,0	9,2	46,9
9	Всего по торговому комплексу	1537	-	1537,0	618,6	1669,6

Далее проводится определение расчетной нагрузки освещения объектов (потребителей) проектируемого торгового комплекса согласно [2,3,18].

Рассчитывается расчётная нагрузка наружного (уличного) и внутреннего освещения торгового комплекса.

Удельная нагрузка для определения наружного (уличного) освещения напрямую связана с типом фасада сооружения (стороны здания),

принимающаяся в зависимости от градостроительства по нормативным данным.

Площадь объектов проектируемого торгового комплекса равна $S=420000 \text{ м}^2$ (42 га).

Парадный и лицевой фасады проектируемого торгового комплекса предлагается отнести к категории А, т.к. они должны создавать лучшую освещённость, чем освещенность заднего и бокового фасада (категория Б), а также выходят на важные улицы.

Для наружного освещения торгового комплекса используются светодиодные светильники следующих типов:

- для категории А: светильник R500-3-120-6-165К ($\cos \varphi = 0,95$);
- для категории Б: светильник R500-1-120-6-55К ($\cos \varphi = 0,95$).

Значение активной расчетной нагрузки наружного освещения определяется так, $P_{p.o.y.}$, кВт

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

где $P_{уд.y.o.i}$ – нормируемое значение удельной активной нагрузки i -ой стороны сооружения, кВт/км;

l_i – суммарная длина i -ой здания, подлежащего освещению, км.

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

Значение активной расчетной электрической нагрузки внутреннего освещения, $P_{p.вн.}$, кВт, определяется так [2,3,18]:

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

где $P_{уд.вн.}$ – нормируемое значение удельной активной нагрузки внутреннего освещения, кВт/га;

F – суммарная площадь проектируемого торгового комплекса, га.

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

Значение суммарной расчетной активной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения проектируемого торгового комплекса, $P_{p.отк}$, кВт, [2,3,18]:

$$P_{p.отк} = P_{p.у.о.} + P_{p.вн.} \quad (6)$$

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

Значение суммарной расчетной реактивной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения проектируемого торгового комплекса, $Q_{p.отк}$, квар [3]

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

где $\text{tg} \varphi_{у.о.}$ и $\text{tg} \varphi_{вн.кв.}$ – коэффициенты мощности наружного и внутреннего освещения объектов проектируемого торгового комплекса.

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

Значение суммарной полной реактивной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения проектируемого торгового комплекса, $S_{p.отк}$, кВА [3]

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

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

С учётом силовой и осветительной нагрузки определяется суммарная активная электрическая нагрузка $P_{тк}$, кВт

$$P_{тк} = P_{р.мах} + \sum_1^{n_i} k_{y_i} \cdot P_{р.i}; \quad (9)$$

где $P_{р.мах}$ – максимальная электрическая нагрузка, взятая из группы потребителей, кВт;

$K_{y.i}$ – нормируемый коэффициент несовпадения максимумов [2,3,18].

С учётом силовой и осветительной нагрузки определяется суммарная реактивная электрическая нагрузка $Q_{тк}$, квар

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

Суммарная расчетная активная нагрузка проектируемого торгового комплекса $P_{р.тк}$, кВт, с учётом учётом нагрузки наружного освещения [14]:

$$P_{р.тк} = P_{р.мах} + \sum k_{y.i} \cdot P_{р.i} + k_{y.осв.} \cdot (P_{р.у.о.} + P_{р.вн.}), \quad (11)$$

где $P_{р.мах}$ – максимальное значение из группы расчетных нагрузок, кВт;

$P_{р.i}$ – значение расчетной нагрузки i -го объекта, кВт;

$k_{y.i}$ – коэффициент участия i -го объекта в максимуме нагрузок, принимается по данным [3].

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

Реактивная составляющая нагрузки проектируемого торгового комплекса $Q_{р.тк}$, квар, с учётом нагрузки наружного освещения

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

$$Q_{p.тк} = 375 \cdot 0,62 + (171 \cdot 0,50,27 + 156 \cdot 0,50,32 + 123 \cdot 0,50,26 + 277 \cdot 0,50,32 + 274 \cdot 0,50,32 + 115 \cdot 0,50,62 + 46 \cdot 0,50,2) + 188,9 \cdot 0,328 = 254,8 \text{ квар.}$$

Полная расчетная нагрузка проектируемого торгового комплекса $S_{p.тк}$, кВА, с учётом нагрузки наружного освещения

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

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

Полученные результаты расчётных нагрузок как отдельных объектов, так и проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» в целом, используются в работе далее при выборе силовых трансформаторов на питающей ПС-10/0,4 кВ, а также кабельных линий и электрических аппаратов.

2.3 Выбор трансформаторов ТП

Выбор силовых трансформаторов для установки на питающей ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса производится по материалам [9,16,19,20,26,28].

Мощность силового трансформатора на питающей ПС-10/0,4 кВ определяется из соотношения

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{P_p}{N\beta_T}, \quad (14)$$

$S_{ном.т}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ПС-10/0,4 кВ, кВА;

$S_{ном.т.р}$ – расчетная мощность силового трансформатора, установленного на ПС-10/0,4 кВ, кВА;

P_p – суммарная активная нагрузка объектов торгового комплекса, которые получают питание от ПС-10/0,4 кВ, кВт;

N – количество силовых трансформаторов для установки на питающей ПС-10/0,4 кВ, шт;

β_m – нормируемый коэффициент загрузки силового трансформатора на питающей ПС-10/0,4 кВ [4].

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

По [9] выбран для установки на питающей ПС-10/0,4 кВ силовой трансформатор марки ТМЗ-630/10.

Конструктивно питающая ПС-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 [13], действительные значения коэффициентов загрузки сравниваются с допустимыми значениями.

Проверка в нормальном режиме [9,21]

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

Проверка в послеаварийном режиме [9,21]

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

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

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

Окончательно принимается к установке на питающей ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10, которые удовлетворяют условиям выбора и проверок.

2.4 Выбор компенсирующих устройств на ТП

Исходя из положений, приведённых в [6,14], необходимо определить входную реактивную мощность на питающей ПС-10/0,4 кВ исходя из расчётной нагрузки торгового комплекса, мощности и количества силовых трансформаторов на питающей ПС-10/0,4 кВ с учётом нормированного коэффициента загрузки трансформаторов на подстанции

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

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов ПС-10/0,4 кВ (установленное значение).

Мощность конденсаторных установок (КУ) с конденсаторами напряжением 0,4 кВ для их установки на питающей ПС-10/0,4 кВ (групповая компенсация РМ)

18)

где Q_p – реактивная нагрузка на шинах ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса, квар.

Мощность регулируемой части КУ принимается, исходя из максимальных нагрузок и нормативного значения коэффициента мощности:

(19)

где $tg\varphi_H = 0,329$ - коэффициент реактивной мощности при $cos\varphi_H = 0,95$.

Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств:

(20)

С учётом установки компенсирующих устройств на питающей ПС-10/0,4 кВ, её полная мощность равна:

(21)

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов на питающей ПС-10/0,4 кВ с учётом установки КУ в нормальном режиме работы составит:

(22)

Согласно приведённой расчётной методике, проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на питающей ПС-10/0,4 кВ (в работе применяется групповая компенсация реактивной мощности).

Согласно (17)

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

Согласно (18)

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

Т.к. $Q_{н.к} < 0$, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на ПС-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения проектируемого торгового комплекса не устанавливаются.

Расчётная нагрузка питающей ПС-10/0,4 кВ принимается равной суммарной нагрузке объектов торгового комплекса, которая была до проведения данного расчёта.

2.5 Выбор и проверка сечения проводников

Для выбора сечения кабеля рассчитывается рабочий ток нормального режима кабельной линии

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

Максимальный расчётный ток линии с двумя силовыми кабелями (послеаварийный режим работы)

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

Проверка сечения в послеаварийном режиме [4]:

$$I_{дон} \geq I_{p.маx} \quad (25)$$

где $I_{дон}$ – длительно – допустимый ток выбранного кабеля [4];

$I_{p.маx}$ – максимальный расчётный ток линии.

Выбор сечения питающей кабельной линии напряжением 10 кВ проводится по условию:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (26)$$

где $j_{\text{э}}$ – плотность тока, А/мм².

Проводится выбор силовых кабелей для питания ПС-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ энергосистемы:

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

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,8 \text{ мм}^2.$$

Согласно [4], выбирается ближайшее номинальное сечение кабельной линии $F = 25 \text{ мм}^2$, $I_{\text{дон}} = 105 \text{ А}$.

Максимальный расчётный ток кабельной линии, которая питает ТП-1

$$I_{\text{р.мак}} = 1,4 \cdot 36,4 = 50,96 \text{ А.}$$

Условие проверки выполняется

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

Окончательно выбирается кабель марки АСБ-10 (3х25).

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 торгового комплекса.

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.

Распределительная сеть напряжением 0,4 кВ, питающая ВРУ потребителей от шин низкого напряжения ТП-10/0,4 кВ, прокладывается в каналах [13].

Так как торговый центр является строящимся сооружением, и предполагаемые кабельные линии будут иметь большие сечения, применяется инновационный способ монтажа данных кабелей в железобетонных каналах (технологических отверстиях строительных железобетонных плит перекрытия).

При вводе во ВРУ, между выходом с указанной плиты до ВРУ, дополнительно применяются унифицированные железобетонные каналы из сборных плит типа СК, обеспечивающие защиту кабелей от механических повреждений, удобство монтажа, обслуживания и ремонта, а также электробезопасность.

В связи с тем, что указанные кабели прокладываются в железобетонных каналах и лотках, следовательно, допустимый ток для них выбирается по [14] при прокладке в воздухе.

Сечение указанных кабелей выбирается по [14].

Полная расчетная мощность при питании по двум кабельным линиям в нормальном режиме

При этом расчётный ток в нормальном режиме будет определяться по формуле:

Расчётный ток в послеаварийном режиме

Для участка ПС-10/0,4 кВ – СТО значение расчётной полной мощности, а также токов нормального и послеаварийного режимов:

– значение расчётной полной мощности

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

– значение тока нормального режима

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

– значение тока послеаварийного режима

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

Аналогично определены значение расчётной полной мощности, а также токов нормального и послеаварийного режимов для других питающих линий напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения проектируемого торгового комплекса (таблица 3).

Таблица 3 – Определение значений расчётной полной мощности, токов нормального и послеаварийного режимов для питающих линий 0,38/0,22 кВ проектируемого торгового комплекса

Наименование потребителя торгового комплекса	<i>n</i> , шт.	<i>S</i> _{р.н.} , кВА	<i>S</i> _{п.н.} , кВА	<i>I</i> _{р.н.} , А	<i>I</i> _{п.н.} , А
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	2	88,4	176,69	134,29	241,59
Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	2	145,4	290,69	220,89	397,48
Пиццерия с кафе и магазином	2	81,8	163,48	124,29	223,58
Спортивно – развлекательный комплекс	2	63,7	127,49	96,81	174,29

Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	2	220,6	441,21	335,22	603,47
Продовольственный супермаркет	2	144,0	287,89	218,79	393,79
Непродовольственный супермаркет	2	67,7	135,28	102,88	185,11
Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	2	23,5	46,92	35,69	64,12

Принимаются для питания ВРУ потребителей негорючие силовые кабели с алюминиевыми жилами марки АВВГнг, что крайне важно и необходимо при данном способе прокладки исходя из требований пожарной безопасности [14].

Для питающей линии на участке ПС-10/0,4 кВ – СТО, для принятой марки кабеля (АВВГнг) и способа его прокладки (в железобетонных лотках), выбирается сечение так [14]:

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

$$150 \text{ А} > 134,3 \text{ А}.$$

Проверка выбранного кабеля по условию нагрева в нормальном режиме:

Для линии ПС-10/0,4 кВ – СТО

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

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

Проверка выбранного кабеля по условию предельно нагрева в послеаварийном режиме:

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

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

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 $I_{доп.н}=219 \text{ A}$.

Повторная проверка силового кабеля нового сечения выполняется

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

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

Окончательно принимается сечение жилы силового кабеля для питания СТО от ПС-10/0,4 кВ, равное $F=95 \text{ мм}^2$. Аналогично выбраны и проверены в послеаварийном режиме остальные кабельные линии для питания ВРУ потребителей питающей сети проектируемого торгового комплекса напряжением 0,38/0,22 кВ. Результаты выбора и проверок сечений кабельных линий приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора сечения силовых кабелей питающей сети проектируемого торгового комплекса напряжением 0,38/0,22 кВ

Наименование потребителя торгового комплекса	Ток участка		$I_{доп.н}$ А	$F_{ст.н}$ мм ²	$K_{обц.н}$	$I'_{доп.н}$ А	$I'_{доп.н} \geq I_{р.н}$	$K_{обц.н}$	$I'_{доп.н}$ А	$I'_{доп.н} \geq I_{р.н}$
	$I_{р.н}$ А	$I_{р.н}$ А								
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	134,3	241,6	219	95	0,87	188,3	да	1,15	251,9	да

Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	220,9	397,5	359	240	0,87	308,7	да	1,15	412,9	да
Пиццерия с кафе и магазином	124,3	223,6	219	95	0,87	188,3	да	1,15	251,9	да
Спортивно – развлекательный комплекс	96,8	174,3	153	50	0,87	131,6	да	1,15	175,9	да
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	335,2	603,5	2х 314	2х 185	0,87	540,1	да	1,15	722,2	да
Продовольственный супермаркет	218,8	393,8	359	240	0,87	308,7	да	1,15	412,9	да
Непродовольственный супермаркет	102,9	185,1	184	70	0,87	158,2	да	1,15	211,6	да
Торговые площади, сдающиеся в аренду	35,7	64,1	60	10	0,87	51,6	да	1,15	69,0	да

Помимо этого, согласно требованиям [14], обязательным условием является проведение непосредственного расчёта потери напряжения, ΔU , %, для выбранного сечения кабельных линий на каждом участке сети

$$\Delta U \% = \frac{S_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \quad (35)$$

где S_p – значение расчётной полной нагрузки участка сети, на котором прокладывается кабельная линия с соответствующим сечением, кВА;

l – длина кабельной линии на участке сети, км.

Расчет потерь напряжения в питающей сети проектируемого торгового комплекса напряжением 0,38/0,22 кВ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет потерь напряжения в питающей сети проектируемого торгового комплекса напряжением 0,38/0,22 кВ

Наименование потребителя торгового комплекса	F , мм ²	L , м	r_0 , МОм	x_0 , МОм	ΔU_n , %	$\Delta U_{n.дон}$ ≤	ΔU_n , %	$\Delta U_{n.до}$ n≤
--	--------------------------	------------	----------------	----------------	---------------------	-------------------------	---------------------	-------------------------

			/м	/м		5%		10%
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	95	60	0,34	0,06	2,47	да	4,88	да
Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	240	80	0,14	0,06	2,24	да	4,23	да
Пиццерия с кафе и магазином	95	140	0,34	0,06	2,86	да	5,47	да
Спортивно – развлекательный комплекс	50	160	0,64	0,06	3,16	да	6,02	да
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	2х 185	180	0,17	0,06	1,98	да	3,83	да
Продовольственный супермаркет	240	200	0,14	0,06	1,45	да	2,49	да
Непродовольственный супермаркет	70	210	0,46	0,06	4,08	да	7,81	да
Торговые площади, сдающиеся в аренду	10	240	2,15	0,06	4,23	да	7,11	да

Все выбранные кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ соответствуют требуемым условиям выбора и проверок.

2.6 Расчет токов короткого замыкания и проверка сечения кабелей 10 кВ на термическую стойкость

Для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса, составляется расчётная схема и схема замещения для данного участка сети (рисунок 2).

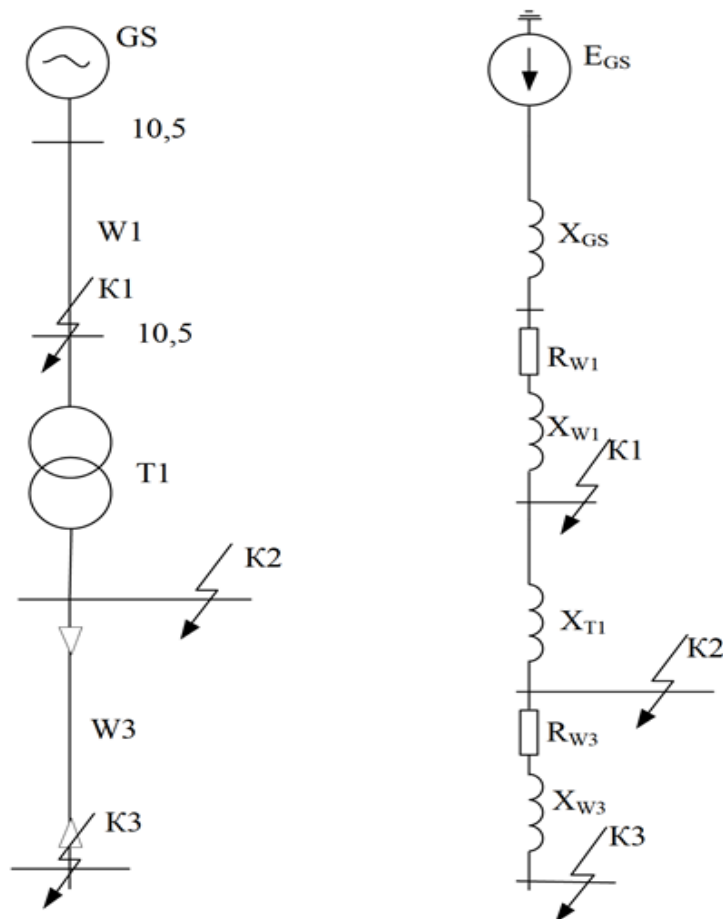


Рисунок 2 – Однолинейная расчетная схема и схема замещения сети

Величина базисного напряжения U_{δ} принимается выше номинального напряжения сети на 5%.

Выбираются расчетные точки короткого замыкания K1 на стороне высшего напряжения подстанции и K2, K3 на стороне низшего напряжения.

Базисные условия (базисная мощность в работе принята равной мощности силового трансформатора питающей ПС-10/0,4 кВ, базисные напряжения – это номинальные значения напряжений ВН и НН питающей ПС-10/0,4 кВ), то есть: $S_B = 0,63$ МВА; $U_{ВН} = 10,5$ кВ; $U_{НН} = 0,4$ кВ.

Рассчитывается базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения:

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

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

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

Расчет параметров схемы в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения.

Принимается факт, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы) $E_c = 1$, соответственно, индуктивное сопротивление $x_c = 0,005$ о.е.

Индуктивное сопротивление кабельной линии:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.В1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (37)$$

где X_{W1} -удельное сопротивление линии, Ом/км;

L -длина линии, 6 км.

Индуктивное сопротивление питающей кабельной линии W1 (номинальное напряжение – 10 кВ):

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

Активное сопротивление кабельной линии:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.В1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (38)$$

где $R_{уд.В1}$ – удельное активное сопротивление линии [4].

Активное сопротивление питающей кабельной линии W1 (10 кВ):

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

Находится индуктивное сопротивление трансформатора ПС-10/0,4 кВ

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.T}}. \quad (39)$$

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

Индуктивное сопротивление кабельной линии W3 по (37):

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

Определяется активное сопротивление кабельной линии W3 по (38):

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

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (40)$$

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

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётных точках [24,27].

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (41)$$

Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1

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

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2

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

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

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,068} \cdot 0,91 = 13,38 \text{ кА}.$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точке К3

$$Z_{\Sigma k 3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (43)$$

$$Z_{\Sigma k 3} = \sqrt{(0,005 + 0,007 + 0,0525 + 0,053)^2 + (0,008 + 0,366)^2} = 0,698 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,698} \cdot 0,91 = 1,31 \text{ кА}.$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

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

где $K_{y\partial}$ – значение ударного коэффициента (по справочным данным) [24].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,14 = 4,24 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К2

$$I_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 13,38 = 18,92 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К3

$$I_{уд.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,31 = 1,85 \text{ кА.}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания осуществляется по выражению

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

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К1

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

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К2

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

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К3

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

Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения проектируемого торгового комплекса приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения проектируемого торгового комплекса

Точка КЗ	U _Б , кВ	I _Б , кА	Z _Σ	K _{уд}	I ⁽³⁾ кА	I ⁽²⁾ кА	I _{уд} , 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

На основе полученных результатов расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2», далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ.

Кроме того, согласно полученным значениям токов короткого замыкания, проверяется принятые ранее сечение питающей кабельной линии напряжением 10 кВ на термическую стойкость при КЗ.

Термически стойкое сечение:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (46)$$

где B_K – тепловой импульс тока КЗ, $A^2 \cdot c$;

C – тепловой коэффициент, в работе принимается для кабелей 90 $A \cdot c^{\frac{1}{2}}$.

Проверяется сечение питающей кабельной линии напряжением 10 кВ

$$B_K = 2,14^2 \cdot 0,1 = 0,46 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{0,46 \cdot 10^6}}{90} = 7,5 \text{ мм}^2.$$

Сечение питающей кабельной линии напряжением 10 кВ удовлетворяет требованиям термической устойчивости.

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

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 [1,18,24]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (47)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n; \quad (48)$$

– проверка выключателя на симметричный ток отключения

$$I_{nt} \leq I_{откл}; \quad (49)$$

– проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ [24]

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (50)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}; \quad (51)$$

– на электродинамическую устойчивость [1,18,24]:

$$i_y \leq i_{нр.с}; \quad (52)$$

– на термическую стойкость по значению теплового импульса [1,18,24]

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (53)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (54)$$

Распределительный пункт 10 кВ РП-10 кВ энергосистемы, от которого получают питание ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки. Конструктивно оно выполнено с использованием ячеек КУ-10С, в которых непосредственно используется выкатной элемент в сборе с выключателями высокого напряжения и трансформаторами тока. Ремонтное положение выкатного элемента обеспечивает видимый разрыв, поэтому в них не устанавливаются разъединители. Ячейки поставляются с предприятия – изготовителя полностью собранными и укомплектованными, при монтаже необходимо их установить согласно проекту, сфазировать и подключить в работу.

Выбор выключателей 10 кВ, устанавливаемый в ячейках 10 кВ на питающем РП-10 кВ для защиты и коммутации ПС-10/0,4 кВ данного торгового комплекса, выполняется по приведённым выше условиям (таблица 7). Предварительно выбирается современный инновационный элегазовый выключатель марки LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41 и проводится его проверка.

Таблица 7 – Выбор высоковольтных выключателей 10 кВ

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

Выбирается трансформатор тока 10 кВ для установки в ячейке питающего РП-10 кВ марки ТПОЛМ-10 (таблица 8).

Таблица 8 – Выбор трансформаторов тока 10 кВ

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

На питающей двухтрансформаторной ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса во вводных шкафах ВН устанавливаются высоковольтные выключатели нагрузки и предохранители напряжением 10 кВ.

Результаты выбора и проверки выключателей нагрузки представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор выключателя нагрузки 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/400-10-У3
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ

Продолжение таблицы 9

$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n$	$I_{\text{раб.макс}}=231,2\text{А}$	$I_n = 400 \text{ А}$
$i_y \leq i_{\text{пр.с}}$	$i_y=4,24 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 25 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k=2,14^2 \cdot 0,1= 0,46 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

Высоковольтные предохранители выбираются по условиям, аналогичным выбору низковольтных предохранителей, проведённых в работе ранее [1,22,23,25]:

Выбор предохранителей для ПС-10/0,4 кВ [1,22] приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор высоковольтных предохранителей

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные предохранителя ПК103-10-100-31,5/У3
$U_{\text{уст}} \leq U_n$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n$	$I_{\text{раб.макс}}=231,2\text{А}$	$I_{\text{н.вст}} = 100 \text{ А}$
$i_y \leq i_{\text{пр.с}}$	$i_y=4,24 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k=2,14^2 \cdot 0,1= 0,46 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{\text{ном.вык}} > I_{\text{кл}}$	$I_{\text{кл}} = 2,14 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.в}} = 31,5 \text{ кА}$

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка следующих электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ, которые устанавливаются:

- автоматы марки ВА – в шкафах РУ-0,4 кВ на питающей ПС-10/0,4 кВ;
- предохранители марки ПН-2 – во ВРУ потребителей.

Условия выбора автоматических выключателей [21,25]:

- по напряжению, кВ

где $U_{\text{ном.а}}$, $U_{\text{ном.с}}$ – соответственно значение номинального (паспортного) напряжения аппарата (автомата) и сети, кВ.

– по току, А

где I_f – тока форсированного режима, А;

– по току уставки расцепителя, А

– по току уставки теплового расцепителя, А

– по току уставки электромагнитного расцепителя, А

где I_k – значение максимального (трёхфазного) тока КЗ, А;

– для автомата ввода на питающей ПС-10/0,4 кВ, $I_{у.э.р.}$, А

где $I_{ном.т}$ – значение номинального тока силового трансформатора на питающей ПС-10/0,4 кВ торгового комплекса, А;

– по отключающей способности, А

Проводится детальный выбор автомата ввода ПС-10/0,4 кВ (таблица

Таблица 11 – Выбора автомата ввода питающей ПС-10/0,4 кВ

Условие	Параметры электрической сети	Каталожные данные автомата ВА55-43
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 380 \text{ В}$	ном.а=380 В
$I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = K_{рез} I_{ном.т} =$ $= 1,4 \cdot 969,2 = 1356,9 \text{ А}$	ном.а=1600 А
$I_{ном.р} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.р} = K_{рез} I_{ном.т} =$ $= 1,4 \cdot 969,2 = 1356,9 \text{ А}$	ном.р=1600 А
$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	ном.а=1600 А	ном.р=1600 А
$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_{\phi}$		у.т.р=1600 А
$I_{у.э.р} \geq 6 - 10 \cdot I_{ном.т}$	$10 \cdot I_{ном.т} = 10 \cdot 969,2 = 9692 \text{ А}$	у.э.р=10000А
$I_{ном.выкл} \geq I_{к}$	$k_2 = 13,38 \text{ кА}$	ном.выкл= 45 кА

Результаты выбора линейных автоматических выключателей в системе электроснабжения (вводные автоматы ВРУ потребителей) проведены аналогично выбору вводного автомата по указанным выше условиям выбора и проверки, и результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор линейных автоматов (вводные автоматы ВРУ потребителей)

Линия	Марка	ном,	р,	ном.а,	ном.р,	у.т.р,	у.э.р,	в.а,
		В						кА
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	ВА 52-35	660	241,6	250	250	400	2400	32
Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	ВА 52-34	660	397,5	400	400	630	2400	32
Пиццерия с кафе и магазином	ВА 52-35	660	223,6	250	250	250	2400	32
Спортивно – развлекательный комплекс	ВА 52-35	660	174,3	250	200	250	1800	32

Продолжение таблицы 12

Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и	ВА 52-39	660	603,5	630	630	800	1800	55
--	----------	-----	-------	-----	-----	-----	------	----

магазином								
Продовольственный супермаркет	ВА 52-34	660	393,8	400	400	630	3600	32
Непродовольственный супермаркет	ВА 52-35	660	185,1	250	200	250	3000	32
Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	ВА 52-35	660	64,1	100	80	120	3000	32

Выбор низковольтных предохранителей.

Предохранители типа ПН – 2 устанавливаются во ВРУ потребителей.

Основным элементов предохранителя является калиброванная стандартная плавкая вставка, выбор тока уставки которой, I_6 , А

$$I_6 \geq I_{p.н}^н, \quad (62)$$

где $I_{p.н}^н$ – ток нормального режима, А.

Проверка вставки в послеаварийном режиме работы, А:

$$I_6 \geq I_p^{наб} / k, \quad (63)$$

где $k = 1,4$ – нормируемый коэффициент отстройки [21].

Проверка патрона предохранителя по отключающей способности, А

$$I_{np.откл} \geq I_{к2}^н, \quad (64)$$

где $I_{np.откл}$ – предельный отключающий ток предохранителя, кА.

Проводится выбор и последующая проверка предохранителей на примере ВРУ СТО торгового комплекса по приведённым выше условиям.

$$200 \text{ А} > 134,3 \text{ А.}$$

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

$$40 \text{ кА} > 14,79 \text{ кА.}$$

Выбирается предохранитель для установки во ВРУ СТО марки ПН-250 с $I_{np} = 250 \text{ A}$ и $I_{с.} = 200 \text{ A}$ [23,24].

Аналогичные расчеты проведены для всех ВРУ потребителей проектируемого торгового комплекса и результаты приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор низковольтных предохранителей для установки во ВРУ потребителей проектируемого торгового комплекса

Потребитель	I_p^H , А	$I_p^{нав}$, А	$I_{с.}$, А	$I_{np.}$, А	$I_{np.отк.}$, кА	$I_p^{нав} /$ $1,4, \text{A}$
Станция технического обслуживания и ремонта автомобилей	134,3	241,6	200	250	40	172,6
Системы жизнеобеспечения торгового комплекса	220,9	397,5	315	400	25	283,9
Пиццерия с кафе и магазином	124,3	223,6	160	250	40	159,7
Спортивно – развлекательный комплекс	96,8	174,3	125	250	40	124,5
Пекарня с электроплитами, электрооборудованием и магазином	335,2	603,5	500	630	25	431,1
Продовольственный супермаркет	218,8	393,8	315	400	25	281,3
Непродовольственный супермаркет	102,9	185,1	160	250	40	132,2
Торговые площади (магазины, бутики, мини-маркеты), сдающиеся в аренду	35,7	64,1	50	100	50	45,8

Все выбранные электрические аппараты отвечают установленным требованиям и нормам проверок.

2.8 Разработка комплекса мероприятий по минимизации потерь активной мощности

Известно множество мероприятий по совершенствованию системы учета электроэнергии, но, тем не менее, периодически сетевые организации внедряют новые с целью реагирования на ранее, не принимаемые во внимание составляющие коммерческих потерь, а также в связи с постоянно появляющимися новыми способами хищения электроэнергии.

Главные задачи разрабатываемых и внедряемых мероприятий – реальное снижение потерь в электросетях, которые работают в нормальных технических и климатических условиях.

Если оборудование работает в условиях, отличных от нормальных, то потребителями должны приниматься все возможные меры по приведению условий работы к нормальным. При этом и потери должны установиться на уровне нормативных. На основе анализа литературных источников, проведённого в работе ранее, проводится разработка комплекса мероприятий по минимизации потерь активной мощности в системе электроснабжения потребителей проектируемого торгового комплекса и плана по его реализации.

Как известно, отчётные потери электроэнергии представляются в форме следующих составляющих, а именно: технические потери; коммерческие потери; инструментальные потери и потери на собственные нужды. Также известно, что основные направления для задачи минимизации потерь электроэнергии носят организационный либо технический характер. Совместное применение организационных и технических мероприятий для решения задач минимизации потерь электроэнергии в конечном итоге приводит к значительному технико – экономическому эффекту на всех звеньях систем электроснабжения. Учитывая приведённые аспекты после проведенного анализа литературы, после проведения анализа системы электроснабжения с учётом рекомендованных методов и подходов, разработан комплекс мероприятий по минимизации потерь активной мощности в системе электроснабжения потребителей проектируемого торгового комплекса с поэтапным планом его реализации (рисунок 3).

При этом разработанный план реализации комплекса мероприятий по минимизации потерь активной мощности в системе электроснабжения потребителей проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» состоит из трёх этапов, которые реализуются в определённой последовательности (алгоритм реализации), приведённой ниже. Первый этап предполагает тщательное и качественное нормирование потерь электроэнергии. При этом такое нормирование необходимо осуществить для каждой группы потерь электроэнергии отдельно, так как они имеют различную природу и не могут быть представлены одной расчётной составляющей [1,2,17,18,24].

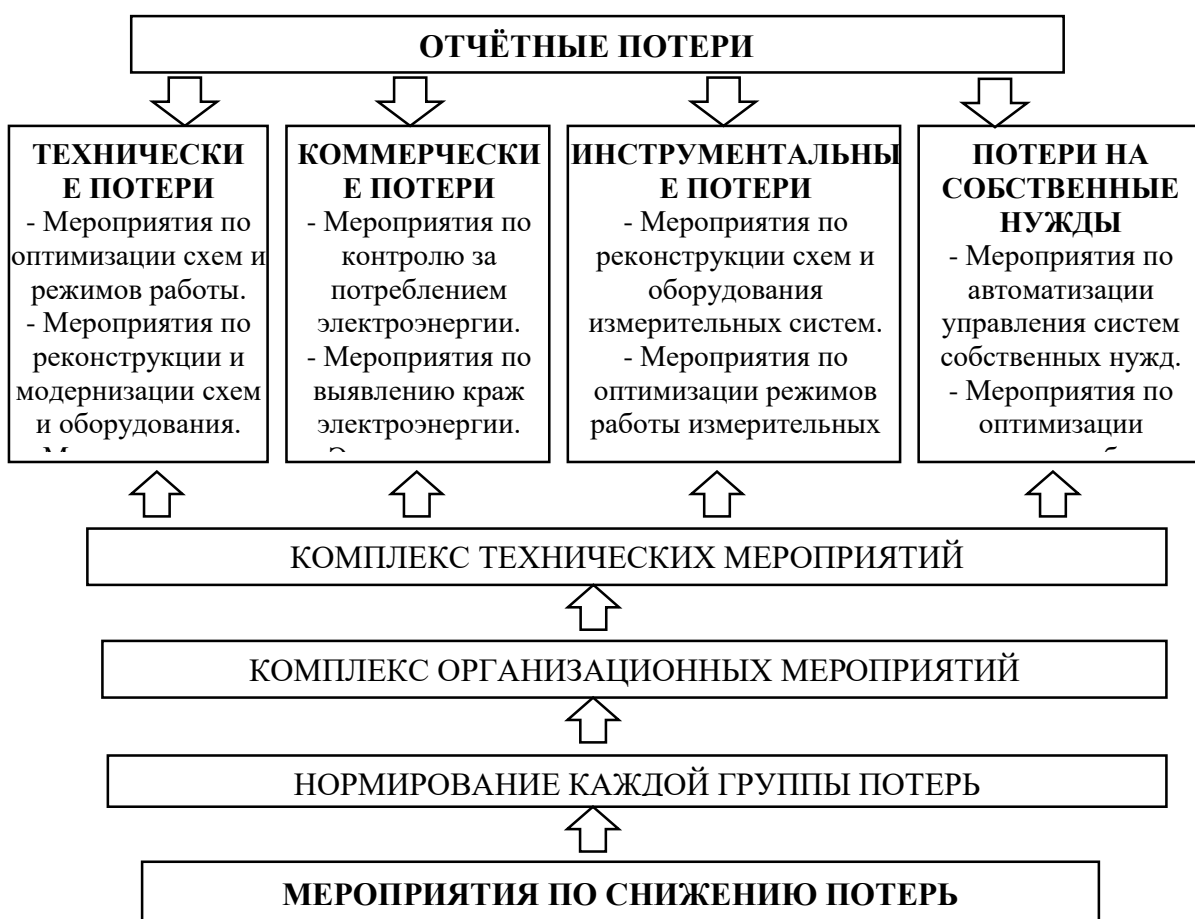


Рисунок 3 – Комплекс мероприятий по минимизации потерь электроэнергии в системе электроснабжения потребителей проектируемого торгового комплекса с поэтапным планом его реализации

При этом необходимо учесть, например, такие важные технические и экономические аспекты:

- для нормирования технических потерь – режимы работы схемы, технические параметры оборудования, степень его износа, показатели потребляемой реактивной электроэнергии и степень её компенсации, климатические факторы, коэффициенты загрузки оборудования;
- для коммерческих потерь – отсутствие краж и задолженностей по оплате за потреблённую электроэнергию;
- для инструментальных потерь – состояние систем измерений, их износ и погрешности; для потерь на собственные нужды – неучтённые расходы на собственные нужды питающих подстанций энергосистемы.

При этом норматив потерь должен быть обоснован на проектной стадии для каждой группы отдельно.

Второй этап плана предполагает внедрение комплекса организационных мероприятий по минимизации потерь электроэнергии.

К ним относятся: разработка организационной документации, направленной на поощрение работников, выполняющих предписания по снижению потерь электроэнергии, внедрение инструкций и положений по правильному ведению технологического процесса, наказание виновных и т.д.

На третьем этапе осуществляется разработка и внедрение комплекса технических мероприятий для минимизации каждой группы потерь с учётом технических характеристик, схем и параметров системы электроснабжения.

В системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса, как наиболее эффективные, с точки зрения минимизации потерь электроэнергии на данный момент, приняты мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений с учётом фактических нагрузок потребителей, а также модернизация устаревших и перегруженных линий, электрических аппаратов и трансформаторов, заключающаяся в их замене на новые, современные типы, имеющие ряд технических и экономических преимуществ [17].

В работе в результате проведения анализа схемы проектируемого торгового комплекса, на основании соответствующих расчётов и решений, принимаются технические решения по оптимизации схемы электрических соединений с выбором и проверкой силовых трансформаторов, оборудования и сетей, согласно требуемых нормативными документами технических показателей.

Экономическая эффективность описанных выше мероприятий по реконструкции и модернизации очевидна, поскольку они оптимизируют энергопотребление и коэффициенты загрузки оборудования, что приводит к уменьшению технических (нагрузочных) потерь электроэнергии.

Кроме того, данные мероприятия являются одним из известных способов уменьшения затрат на обслуживание и ремонт, что в свою очередь, положительно сказывается на технико-экономических показателях системы потребителей проектируемого торгового комплекса.

Выводы по разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлено непосредственная разработка электрической сети для проектируемого торгового комплекса «Водолей 2».

Питание внешней системы электроснабжения торгового комплекса (а именно – ПС-10/0,4 кВ) осуществляется от энергосистемы двумя кабельными линиями напряжением 10 кВ. Для этой цели применяется двухлучевая радиальная схема (без наличия ответвлений). Такая схема электроснабжения полностью соответствует нормам и требованиям [4,12-14]. Кроме того, в указанной схеме на питающей ПС-10/0,4 кВ принимается радиальная схема с необходимым уровнем резервирования на шинах низкого напряжения – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР).

После выполнения расчёта электрических нагрузок, на ПС-10/0,4 кВ

принята установка двух силовых трансформаторов марки ТМЗ-630/10, которые в достаточной мере обеспечат надёжную работу системы электроснабжения торгового комплекса.

В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий:

- питающей сети 10 кВ – два силовых кабеля марки АСБ-10(3х25);
- питающей сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки АВВГнг различных сечений.

Также выбраны и проверены электрические аппараты:

- напряжением 10 кВ – для установки на питающем РП-10 кВ энергосистемы: выключатели высокого напряжения марки LF1-10,5-12,5/630-У2-41 и трансформаторы тока типа ТПОЛМ-10; для установки на ПС-10/0,4 кВ на стороне ВН торгового комплекса: предохранители марки ПК103-10-100-31,5/У3; выключатели нагрузки марки ВНПу-10/250-10-У3.
- напряжением 0,38/0,22 кВ – для установки в РУ-0,4 кВ питающей ПС-10/0,4 кВ: автоматы ввода марки ВА55-43 и линейные автоматы (автоматы для защиты ВРУ потребителей) марки ВА52-34 и ВА52-35; для установки во ВРУ потребителей – предохранители марки ПН-2.

Работоспособность кабельных линий и электрических аппаратов подтверждена их непосредственной проверкой на термическую и динамическую стойкости к токам КЗ, также рассчитанным в работе.

Разработан комплекс мероприятий по минимизации потерь активной мощности с детальным планом его реализации.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности

В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в электрической сети на ПС-10/0,4 кВ и в системе электроснабжения в целом проектируемого торгового комплекса, выделяются:

- поражение людей электрическим током;
- наличие опасного шагового напряжения в зоне растекания электрического тока при замыкании токоведущих частей на землю, в особенности в сырую погоду;
- появление наведенного и опасного напряжения на корпусах электрооборудования при повреждении изоляции;
- влияние электромагнитных полей высокого напряжения на организм людей;
- травмы различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, обслуживанию и ремонту электрического оборудования и сетей;
- опасность падения с высоты при монтаже, обслуживании и ремонте воздушных линий электропередач;
- опасность возникновения пожара, в особенности в помещениях распределительных устройств с маслonaполненными аппаратами и в силовых трансформаторах;
- опасность взрыва в маслonaполненном герметизированном оборудовании;
- повышенный уровень шума при выполнении работ по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей;

- недостаточная освещенность рабочей зоны при работах в помещении закрытых и открытых распределительных устройств в течении суток;
- повышенная либо пониженная температура воздуха рабочей зоны при выполнении работ;
- опасность получения ожогов лица и глаз при возникновении дуги, коротком замыкании;
- повышенная опасность повреждения существующих коммуникаций при прокладке и ремонте воздушных линий системы электроснабжения потребителей.

В организациях обязанности по охране труда возлагаются на главных специалистов приказом руководителя [11].

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [10,11,15].

Современные технологии позволяют свести к минимуму производственный травматизм.

Согласно требованиям [11], в системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса, необходимо применять организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

Организационные мероприятия по технике безопасности включают в себя [11]:

- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- выдача нарядов и распоряжений;
- проведение различных типов инструктажей с последующей подписью обучаемого в журнале инструктажей;

- подготовка рабочего места с применением теоретических знаний и навыков;
- допуск к выполнению работ;
- перерыв и окончание работ.

Технические мероприятия по технике безопасности включают в себя [11]:

- полное или частичное снятие напряжения в месте проведения работ бригадой;
- обеспечение необходимых выключений и переключений;
- принятие неотложных мер, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных и (или) защитных электрических аппаратов, а также непредвиденной подаче напряжения на шины со стороны источника питания;
- непосредственная проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок в зоне проведения работ путём использования технических и поверенных средств (указателей напряжения и т.д.);
- наложение переносных заземлений с использованием принятой методики и алгоритма, а также поверенных технических средств;
- ограждение и прекращение доступа несанкционированных лиц на рабочее место, а также ограждение (изоляция) всех токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- вывешивание плакатов по технике безопасности на рабочем месте, а также по периметру установленного и ограждённого рабочего места (зоны выполняемых работ).

Пожарная безопасность электрических сетей и электроустановок в проекте обеспечивается:

- применением негорючих конструкций;

- выбором оборудования и электроустановочных изделий, соответствующих условиям окружающей среды и номинальному напряжению;
- выбором марок и сечений проводников, способов их прокладки, удовлетворяющих требованиям [4];
- автоматическим отключением токов КЗ;
- непосредственным применением защитного заземления.

Охрана окружающей среды при строительстве объектов энергетики осуществляется путем выполнения природоохранных мероприятий, которые снижают или ликвидируют отрицательное воздействие на природную среду, на сохранение природных ресурсов.

Рассматриваемая в работе подстанция не является источником загрязнения окружающей среды.

Процесс передачи электроэнергии на напряжениях 10/0,4 кВ в системе электроснабжения торгового комплекса является безотходным, не сопровождается никакими вредными выбросами в окружающую среду.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, на период проведения монтажных работ в системе электроснабжения торгового комплекса, будут происходить при работе автотранспорта и спецтехники.

При этом вредное и опасное воздействие на атмосферный воздух вследствие выброса веществ при проведении указанных работ относится к кратковременному.

3.2. Расчёт контура заземления ТП проектируемого торгового комплекса

Проводится расчёт заземления ТП-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса.

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.

Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей, Ом, [9,29]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (65)$$

$$\rho_{p.v} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.v}, \quad (66)$$

где $\rho_{y\delta}$ – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [10];

$K_{n.z}$ и $K_{n.v}$ – нормируемые коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов [9].

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

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

Для стержневого вертикального заземлителя сопротивление растеканию определяется так [9,29]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (67)$$

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

Число вертикальных заземлителей (электродов) [9,29]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{шт.} \quad (68)$$

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

Принимается $N = 27$ шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов [9,29]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{Ом.} \quad (69)$$

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

Уточненное значение сопротивления вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [9,29]

$$R_{г.з.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{Ом.} \quad (70)$$

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

Уточненное число вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [9,29]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{шт.} \quad (71)$$

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

Сопротивление вертикальных заземлителей Ом [9]:

$$R_{в.е} = \frac{R_B}{K_{и.е} \cdot N}, Ом. \quad (72)$$

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

Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления ПС-10/0,4 кВ системы электроснабжения торгового комплекса, $R_{в.е.}$, Ом, определяется таким образом:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, Ом. \quad (73)$$

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

Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов).

Выводы по разделу 3

В результате выполнения третьего раздела работы проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на ПС-10/0,4 кВ проектируемого торгового комплекса согласно требований нормативных документов [9,14,29]. Установлено, что в разработанном контуре заземления соблюдены все требуемые нормы согласно [14].

Также детально описаны основные мероприятия по технике безопасности и охране труда при выполнении работ в системе электроснабжения торгового комплекса. Рассмотрены основные вопросы охраны окружающей среды при выполнении монтажных работ в системе электроснабжения торгового комплекса.

Заключение

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2», расположенного в г. Тольятти.

Для достижения поставленной цели в работе осуществлено решение основных задач, приведённых ниже, с указанием полученного результата.

Приведена основная техническая характеристика приёмников торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти по следующим характеристикам и критериям:

- наименование потребителя и его краткая характеристика;
- установленная активная нагрузка (согласно проекта), кВт;
- занимаемая площадь, м²;
- категория надежности потребителей.

Приведена характеристика источника питания проектируемого торгового комплекса «Водолей 2» г. Тольятти (распределительный пункт напряжением 10 кВ, питающийся от ПС «МИС» 110/10/6 кВ (г. Тольятти)) с описанием схемы электроснабжения и конструктивного выполнения указанного источника питания.

Также детально рассмотрены требования нормативных документов, предъявляемые к системе электроснабжения проектируемого торгового комплекса.

Осуществлена непосредственная разработка электрической сети для проектируемого торгового комплекса. В работе принята питающая радиальная схема с необходимым уровнем резервирования на шинах низкого напряжения – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР).

После выполнения расчёта электрических нагрузок, на ПС-10/0,4 кВ принята установка двух силовых трансформаторов марки ТМЗ-630/10, которые в достаточной мере обеспечат надёжную работу системы

электроснабжения торгового комплекса.

Выбраны и проверены сечения кабельных линий:

- питающей сети 10 кВ – два силовых кабеля марки АСБ-10(3х25);
- питающей сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки АВВГнг различных сечений.

Выбраны и проверены электрические аппараты:

- напряжением 10 кВ – для установки на питающем РП-10 кВ энергосистемы: выключатели высокого напряжения марки LF1-10,5-12,5/630-У2-41 и трансформаторы тока типа ТПОЛМ-10; для установки на ПС-10/0,4 кВ на стороне ВН торгового комплекса: предохранители марки ПК103-10-100-31,5/У3; выключатели нагрузки марки ВНПу-10/250-10-У3.
- напряжением 0,38/0,22 кВ – для установки в РУ-0,4 кВ питающей ПС-10/0,4 кВ: автоматы ввода марки ВА55-43 и линейные автоматы (автоматы для защиты ВРУ потребителей) марки ВА52-34 и ВА52-35; для установки во ВРУ потребителей – предохранители марки ПН-2.

Работоспособность кабельных линий и электрических аппаратов подтверждена их непосредственной проверкой на термическую и динамическую стойкости к токам короткого замыкания и ударным токам, также рассчитанным в работе.

Разработан комплекс мероприятий по минимизации потерь активной мощности с детальным планом его реализации.

Рассмотрены вопросы электробезопасности и экологические вопросы, а также выполнен непосредственный расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции проектируемого торгового комплекса.

Разработанная система электроснабжения торгового комплекса «Водолей 2», расположенного в г. Тольятти, отвечает установленным требованиям нормативных документов по всем требуемым критериям.

Список используемых источников

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
2. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. 343с.
3. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2015. 261 с.
6. Климова Г.Н. Электрические системы и сети. Энергосбережение: учебное пособие для среднего профессионального образования / Г.Н. Климова. - 2-е изд. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. 179 с.
7. Козлов В.А. «Электроснабжение городов».- 5- е издание, перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 2012. 264 с.
8. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ: Справочник электромонтажника. Под ред. А.Д. Смирнова и др. М: Энергоатомиздат, 2018 – 192 с.
9. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. – 352 с.
10. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016 г. 184 с.
11. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.: ил.
14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
16. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
17. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», Госстрой РФ, 2004. 73 с.
18. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).
19. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
20. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.
21. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. - Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова - М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.
22. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.
23. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.
24. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020.

25. EEP (Electrical Engineering Portal): Five switching devices you are likely to spot in most of the low voltage switchgears, 2020. [Electronic resource] URL: <https://electrical-engineering-portal.com/circuit-breakers-classified-by-interrupting-medium> (date of exposure: 29.04.2021).

26. Haggerty N. K., Malone, T. P. Applying Improved Efficiency Transformers. Energy Systems Laboratory, 1998. 571 p.

27. Korab R. Statistical analysis of the double line-to-ground short-circuit current in MV urban network for the power cable metallic screen rating, 2006. Conference: Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2006. [Electronic resource] URL: <https://ru.scribd.com/document/312440164/Statical-Analisis-Diagnostic-Short-Circuit-Cables-MV> (date of exposure: 28.04.2021).

28. Winders J.J. Power Transformers: Principles and Applications. New York: Marcel Dekker, 2007. 298 p.

29. Yavuzturk, C., J.D. Spitler. A Short Time Step Response Factor Model for Vertical Ground Loop Heat Exchangers. ASHRAE Transactions, 1999. 475 p.