

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 Электроснабжение ТЭС «Тольятти»

Студент

А.К. Краснов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

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

Тольятти 2020

Аннотация

Бакалаврская работа посвящена решению важной для торгово-сервисного центра (ТСЦ) «Тольятти» производственной проблемы – разработке системы электроснабжения, вышедшей из строя в результате пожара.

Выпускная квалификационная работа является объективным описанием течения процесса разработки проекта системы электроснабжения предприятия ТСЦ «Тольятти». Производится расчет и выбор оборудования и материалов, применяемых для формирования системы электроснабжения здания торгово-сервисного центра. Предусмотрен задел мощности, обеспечивающий возможность подключения дополнительных потребителей.

Результатом написания ВКР бакалавра является базовый проект системы электроснабжения торгово-сервисного центра, который разработан в соответствии с существующими нормами и правилами.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 60 страниц, содержит 11 таблиц, 12 рисунков, список используемых источников из 20 наименований, графическую часть на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ электрооборудования ТСЦ «Тольятти»	6
1.1 План формирования проекта электроснабжения.....	10
1.2 Карточка технических решений	13
1.3 Прогнозирование электрической нагрузки	16
2 Разработка системы освещения	24
2.1 Система рабочего освещения.....	24
2.2 Система аварийного освещения	28
3 Выбор оборудования трансформаторной подстанции.....	31
4 Выбор оборудования сети электроснабжения	36
4.1 Выбор проводников сети электроснабжения	37
4.2 Выбор аппаратов защиты	42
5 Расчет токов короткого замыкания	49
Заключение	57
Список используемых источников.....	59

Введение

В то время, как под гнетом иностранных санкций трещит по швам экономика Российской Федерации, а политическое давление со стороны западных партнеров предотвращает любые попытки наладить ситуацию и укрепить шаткие связи между государствами, единственным шансом для нашей страны не только устоять перед нависшей угрозой, но и выйти победителем из набирающей бешеные обороты экономической гонки является усиление собственного рынка товаров и услуг.

Помимо улучшения как в интенсивном (качественном), так и в экстенсивном (количественном) ключе производственной базы, а также всяческой поддержки отечественного производителя товаров и услуг, важнейшим аспектом улучшения национального благосостояния является формирование адекватного подхода к проведению различного рода маркетинговых операций. Причем здесь нельзя ограничиваться одним уровнем реализации. Нужен комплексный подход, учитывающий такие аспекты, как оптовая, розничная торговля товарами и услугами, логистика и рациональное территориальное распределение продукции.

Такой широкий фронт вопросов, предлагаемых к решению не может не повлечь высочайшей степени ответственности торговых представительств на местах, которые в условиях рыночной экономики вынуждены решать целый сонм проблем, действуя в режиме многозадачности и постоянного стресса.

В особенности данное утверждение касается продавцов, занимающихся реализацией продукции, необходимой для торговли. Высокое качество поставляемого оборудования в совокупности с оперативным реагированием на малейшие тенденции к изменению ситуации на рынке позволяют не только обеспечить собственных стабильных доход, но и предоставить компаниям-клиентам, осуществляющим торговую деятельность качественные аппараты в сочетании с их квалифицированным сервисным обслуживанием, тем самым повысив устойчивость бизнеса и создавая, в

перспективе, задел для развития отечественной экономики. Одним из предприятий, вполне подходящих под вышеописанные критерии является торгово-сервисный центр (ТСЦ) «Тольятти», осуществляющий продажу оборудования, предназначенного для хранения, переработки и коммерческой реализации продуктов питания и иного торгового инвентаря.

Предприятие основано в 2016-м году. С тех пор оно успешно осуществляло деятельность по продаже означенного списка товаров для торговых организаций различных масштабов на территории города Тольятти и Ставропольского района. Эффективность системы маркетинга не вызывала сомнения, однако злую шутку сыграл тот факт, что основные складские помещения предприятия были расположены в построенном для этих целей ангаре. Техническое состояние инженерных систем вообще и системы электроснабжения данного ангара – в частности, не удовлетворяли современным требованиям пожарной и эксплуатационной безопасности, что привело 28 января 2020 года к крупному пожару, вспыхнувшему в результате замыкания электропроводки и повлекшему значительный ущерб материального плана. Торговые и складские помещения предприятия полностью выгорели, каркас здания подвергся серьезной деформации. В сложившихся обстоятельствах владельцем компании было принято решение о полной реконструкции торгово-складского помещения.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке системы электроснабжения ТСЦ «Тольятти» в соответствии с требованиями актуальных нормативно-технических актов для повышения эксплуатационной надежности, энергетической эффективности и эргономичности.

1 Анализ электрооборудования ТСЦ «Тольятти»

Описываемый объект (ангар) расположен по адресу: улица Новозаводская 47А. Географически это соответствует восточной окраине Центрального района города Тольятти. Основное здание торгово-сервисного центра представляет из себя ангар, выполненный каркасным способом из сэндвич-панелей. Такая конструкция имеет ряд преимуществ перед другими типами зданий и сооружений. С одной стороны, она позволяет обеспечить высокую скорость возведения ангара, обойтись минимальными капитальными затратами при обеспечении относительно большого внутреннего объема здания с приемлемым уровнем теплоизоляции. С другой стороны, в отличие от бескаркасной конструкции, такой вариант исполнения обеспечивает придание зданию прямоугольной формы. Фотография до пожара представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Вид фасада основного корпуса ТСЦ «Тольятти»

28 января 2020 года, вследствие возгорания проводки в складском помещении с покатой крышей из кровельных сэндвич панелей, которое

можно увидеть на рисунке 1 справа, произошел крупный пожар, который привел к серьезным повреждениям каркаса здания. Ход тушения пожара представлен на рисунках 2 и 3. Здесь хорошо видны серьезные повреждения, нанесенные огнем не только интерьеру, но и стенам ангара. На настоящий момент ведется активная реконструкция каркаса сооружения.

В связи с произошедшей аварией перед руководством фирмы встал вопрос о кардинальном пересмотре конфигурации инженерных систем объекта, что позволит повысить эргономичность интерьеров, а в случае с системой электроснабжения – также предотвратить повторение аварийных ситуаций, которые не только уничтожают имущество компании, но могут также привести к жертвам среди персонала, оказавшегося вблизи источника огня, либо принимающего меры к его тушению.

Поскольку большая часть каркаса здания была уничтожена, либо сильно повреждена вследствие воздействия высоких температур при горении резинотехнических изделий, составляющих немалую часть деталей холодильного оборудования, продаваемого компанией, руководством ООО ТСЦ «Тольятти» принято решение о демонтаже остатков старого складского помещения и возведении на его месте нового здания, более удобного в эксплуатации. Данное здание должно отвечать самым современным требованиям в области эргономики, энергоэффективности и, в особенности – пожарной безопасности. В здании предполагается использовать ту же концепцию, которая лежала в основе прежней каркасной конструкции с незначительными изменениями в части расположения помещений и их назначения. Такие изменения продиктованы длительным опытом эксплуатации помещений здания персоналом компании.

Особое внимание решено уделить вопросу проектирования систем электроснабжения и освещения. Их разработка в соответствии с требованиями современных стандартов и норм обеспечит простоту эксплуатации в сочетании с надежностью и электробезопасностью.



Рисунок 2 – Вид складского помещения ТСЦ «Тольятти» после тушения пожара



Рисунок 3 – Процесс тушения пожара на складе ТСЦ «Тольятти»

Здание получало электрическое питание от городской сети электроснабжения 10 кВ. Категория надежности электроснабжения в соответствии с [1] – 3-я. Преобразование напряжения до уровня 0,4 кВ осуществлялось на собственной трансформаторной подстанции, расположенной в одном из помещений здания ТСЦ.

Основное здание ООО ТСЦ «Тольятти» является одновременно складом продукции, торговым и офисным центром. Оно сочетает в себе функциональное удобство, позволяющие относительно легко выполнять разгрузку приходящего от производителя и погрузку поставляемого клиентам крупногабаритного товара, высокую эргономичность и лаконичную красоту внутренних интерьеров, позволяющую снизить утомляемость сотрудников ТСЦ, а также - красоту дизайна, необходимую для того, чтобы произвести благоприятное впечатление на клиентов компании. Немалое внимание уделяется вопросам качественного освещения площадки, на которой представлено предлагаемое к продаже оборудование, что также позволяет произвести благоприятное впечатление на посетителей.

Светлые тона, используемые в отделке поверхностей пола и стен, позволяют свести к минимуму потери освещенности и обеспечить приятный для глаза уровень цветового контраста. Это особенно подчеркнуто в [15].

Площадка перед зданием освещается светильниками типа ДНАТ, фасадное освещение на момент начала пожара отсутствовало.

Таким образом, в рамках разработки системы электроснабжения основного здания ТСЦ «Тольятти» необходимо учесть основные аспекты формирования типового проекта обеспечения электроэнергией торгово-административного здания, минимизировав тем самым количество нерассмотренных технических нюансов. Далее разработаем план формирования проекта системы электроснабжения, который позволит более полно оценить объем и последовательность предстоящей работы.

1.1 План формирования проекта электроснабжения

Одним из наиболее существенных этапов в написании выпускной квалификационной работы бакалавра является разработка плана выполнения данной работы. Порядок формирования подобных планов тщательно описан в [16]. Он позволяет наиболее полно оценить объем предстоящих проектных процедур, сформировать понимание последовательности выполнения ВКР, а также обеспечивает экономию времени, обусловленную предотвращением его нерационального расходования. В рамках данного раздела оценивается не только содержание конкретных этапов проектно-исследовательской деятельности, но и производится предварительная оценка маршрутной карты проекта, подразумевающей оптимизацию процесса разработки вопроса, освещенного в ВКР.

Первым этапом при разработке практически любой системы электроснабжения, идет ли речь о крупном предприятии, или о киоске по продаже кисломолочной продукции, является определение ожидаемых электрических нагрузок здания. Верная оценка предполагаемой мощности проектируемой электроустановки позволит с одной стороны предотвратить перегрузку энерговодов (такой термин часто используется в европейской проектной практике в соответствии с [17]), обеспечив их достаточную пропускную и преобразовательную способность, а с другой – избежать избыточной энергооснащенности и, как следствие, снизить сметную стоимость проекта. В связи с тем, что система электроснабжения здания, фактически, разрабатывается «с нуля», в данном случае целесообразно использовать метод расчета, применяемый при оценке ожидаемой электрической нагрузки электроустановки вновь строящегося здания. Наиболее удобным методом такого рода, оптимальным по соотношению затрачиваемого на расчет времени и точности вычислений является метод расчетного коэффициента. В отличие от упрощенного метода коэффициента спроса, который наиболее популярен в современной проектной практике (как следует из [2]), данный способ позволяет более точно учесть применяемое

электрооборудование, что особенно актуально, учитывая пагубный опыт эксплуатации предыдущей электроустановки.

В рамках следующего пункта следует произвести разработку системы освещения объекта. Осветительные приборы являются важнейшей составляющей интерьера современного здания, обеспечивая комфортные условия работы персонала и позволяя повысить привлекательность обстановки для покупателей и гостей центра. Правильно рассчитанная система освещения с одной стороны обеспечивает снижение утомляемости персонала благодаря достаточно высокой контрастности обстановки и хорошему качеству цветопередачи, а с другой – позволяет предотвратить избыточную освещенность, которая может быть обусловлена слишком большим количеством установленных светильников. Для наиболее рационального определения количества и размещения осветительного оборудования, решено произвести расчет системы освещения ТСЦ «Тольятти» в программной среде DIALux. Данная программа обеспечивает высокую точность расчета и предоставляет широкие возможности для визуализации полученных результатов, что весьма удобно при презентации проекта. По итогам расчета определим суммарную нагрузку на шинах НН трансформаторной подстанции, питающей торгово-складской центр и перейдем к выбору оборудования ТП.

В ходе выбора оборудования понизительной трансформаторной подстанции необходимо определить основные параметры трансформаторов 10/0,4 кВ, применяемых для питания здания, выбрать их тип, мощность. Этот пункт тем более важен, что трансформаторная подстанция является одним из наиболее дорогостоящих элементов системы электроснабжения и в значительной степени влияет на итоговую сметную стоимость реализации проекта. Далее производится выбор прочих составляющих системы электроснабжения

Здесь подразумевается выбор сечения и марки силовых проводников, а также - определение типа и номинального тока автоматических

выключателей, применяемых при монтаже системы электроснабжения (ЭСН). Далее выполняется расчет токов короткого замыкания и выполняется проверка выбранных автоматов и проводников на термическую и электродинамическую устойчивость в условиях протекания тока короткого замыкания. Такие меры позволят избежать разрушения элементов системы ЭСН при возникновении нештатных ситуаций.

Следующей неотъемлемой частью ВКР является расчет токов короткого замыкания, которые протекают в сети электроснабжения здания при возникновении аварийных ситуаций. Знание их значений необходимо для проверки такого оборудования сети электроснабжения здания, как автоматические выключатели способность к отключению протекающих в разработанной электрической сети сверхтоков короткого замыкания.

Расчет токов короткого замыкания позволит быть уверенным, что автоматические выключатели не подвергнутся разрушению под действием ударного тока КЗ.

Таким образом, план выполнения выпускной квалификационной работы сформирован. Далее необходимо определить основные аспекты выбора устройств, проводников и оборудования, сформировав карточку технических решений.

1.2 Карточка технических решений

Карточка технических решений проекта является удобным организационным решением, позволяющим снизить спектр исследуемых марок оборудования и остановиться лишь на выборе его номинальных характеристик. Удобство использования карточки подтверждается в [17]. Целесообразность такого подхода обусловлена огромным разнообразием различных типов и марок электротехнического оборудования, предлагаемого современным рынком - с одной стороны и относительно небольшим количеством компаний, применение продукции и технических решений, предлагаемых которыми, целесообразно с точки зрения соотношения цена/качество.

В особенности, в условиях продолжающегося действия политики импортозамещения, следует остановиться на отечественных производителях электротехнической продукции. Это целесообразно еще и с той точки зрения относительной дешевизны таких комплектующих при отсутствии ощутимых потерь в качестве.

Так или иначе, марки оборудования, а также отдельные технические решения, описываемые данным пунктом, являются основой формирования дальнейшей выпускной квалификационной работы.

Основные технические решения, принятые для последующей реализации в рамках проекта системы электроснабжения основного корпуса ТСЦ «Тольятти» представлены в таблице 1.

Итак, в результате формирования карточки технических решений по проекту разработки системы электроснабжения ТСЦ «Тольятти» выполнен выбор базовых технических регламентов, позволяющий судить об основных марках оборудования, используемого для интеграции в проект.

Таблица 1– Карточка технических решений, принятых для ТСЦ «Тольятти» (Новозаводская 47А)

Виды и марка материалов, конструкций и оборудования	МКОТ используемые в проекте	ГОСТ, ТУ, Серия, Каталог и т.д.
	Электротехнические решения по пункту 5 «Разработка системы освещения»	
Система рабочего освещения	Выполнить светодиодными светильниками производства компании ИЕК	См. [3]
Система аварийного освещения	Выполнить светодиодными светильниками производства компании L-industry	См. [4]
	Электротехнические решения по пункту 6 «Выбор оборудования трансформаторной подстанции»	
Расположение	Подстанцию расположить за пределами здания, позади него	
Тип подстанции	Использовать комплектную трансформаторную подстанцию производства компании «Электроцит Самара»	См. [5]
Тип трансформатора	Для преобразования напряжения класса 10 кВ к классу 0,4 кВ использовать силовой трансформатор с масляной изоляцией марки ТМГ-СЭЦ	См. [5]
	Электротехнические решения по пункту 7 «Выбор оборудования сети электроснабжения»	
Устройства коммутации и защиты	Для коммутации групповых и распределительных сетей системы электроснабжения здания использовать автоматические выключатели производства компании ИЕК	См. [6]
Цепь питания здания	В целях присоединения ВРУ здания к шинам НН трансформаторной подстанции использовать кабель марки АПвБШв производимый пермской компанией Камкабель	ТУ 16.К71-277-98.
Сети электрические распределительные и групповые	Сети питания рабочего освещения, а также распределительных пунктов и отдельных потребителей внутри здания выполнить кабелем марки ВВГнг(А)-LS	Камкабель (г. Пермь), [7]
Групповые сети питания аварийного освещения	Групповую сеть питания аварийного освещения выполнить кабелем устойчивым к возгоранию марки ВВГнг-FRLS	Камкабель (г. Пермь), [7]

Вышеозначенные решения основаны на проектном опыте, полученном в ходе прохождения обучения по университетским дисциплинам, а также – учебной, производственной и преддипломной практик.

Перспективные решения, изложенные в таблице 1 позволяют с большой долей вероятности повысить простоту реализации проекта, а также избежать ненужных проволочек с закупкой товаров и оборудования, а также – его технической поддержкой на всех стадиях монтажа.

Практика оформления карт технических решений широко распространена в современной проектной практике не только в силу их высокого удобства, но и по причине того, что согласованные заказчиком в начале формирования проекта общие технические решения, впредь не могут быть изменены.

В силу основополагающего характера таких решений, их изменение на последующих стадиях реализации проекта создает большой объем работы, заставляя переделывать если не весь проект, то, во всяком случае, большую его часть.

В рамках следующего раздела произведем расчет предполагаемых электрических нагрузок здания с целью дальнейшего выбора проводников, защитного и коммутационного оборудования, а также – силового трансформатора.

1.3 Прогнозирование электрической нагрузки

Прогнозирование электрической нагрузки здания является неотъемлемой частью проектирования его системы электроснабжения, так как позволяет определить типы и состав питающего оборудования, а также задает параметры аппаратов защиты и коммутации. Несмотря на то, что расчет мощности не может быть абсолютно точным в силу наличия большого количества случайных факторов, влияющих на ее значение в каждый конкретный момент времени в зависимости от присутствия в здании людей, интенсивности использования сети и т.д., определение приблизительных значений в совокупности с учетом повышающих коэффициентов, обеспечивающих рациональный запас энергооснащенности, позволяет с одной стороны обеспечить здание рационально рассчитанной системой электроснабжения, номинальная пропускная способность которой не ниже требуемой, а с другой – избежать избыточной стоимости элементов сети. Более подробно см. [18].

В свете вышеизложенного большое значение не может не уделяться грамотному выбору метода расчета предполагаемой нагрузки здания. Наиболее простым, но при этом – наименее точным из применяемых на настоящий момент в проектной практике методов является метод коэффициента спроса. О его аналогах см. [19]. Он позволяет произвести укрупненный анализ прогнозируемых нагрузок здания опирается на статистические данные об энергопотреблении того или иного типа строений в зависимости от их площади. Несмотря на широкое применение данного метода нам приходится отказаться от его использования в силу его недостаточной точности. Руководство ТЭС «Тольятти» не имеет достаточно финансов для обеспечения проекта с завышенной сметой, а повторять прошлые ошибки, опираясь на заниженные показатели также крайне нежелательно.

В связи с этим предлагается рассмотреть более точный, но трудоемкий метод расчета. В частности, речь пойдет о методе расчетного коэффициента,

который применяется в тех случаях, когда состав электрооборудования здания, система электроснабжения которого подлежит проектированию на настоящий момент в большей или меньшей степени известен. Ряд аспектов этого метода расчета описаны в [20].

Также учитывается неравномерность работы электроприемников, что влечет за собой тот факт, что нагрузка на сеть в период пиковой мощности всегда меньше суммы номинальных мощностей всех электроприемников, состоящих на балансе данного здания.

Это с одной стороны обеспечивает высокую точность расчета, а с другой – позволяет учесть нюансы, возникающие при делении на ступени распределения.

Для расчета по данному методу необходимо первоначально разделить рассматриваемые электроприемники на группы по двум основным признакам.

Во-первых, необходимо определить, трехфазное или однофазное питание необходимо приемнику, во-вторых, работает ли он в долговременном, или повторно-кратковременном режиме. Однофазные приемники при равномерном распределении по фазам обеспечивают снижение итоговой нагрузки в три раза, а повторно-кратковременный режим функционирования значительно снижает нагрузку на сеть со стороны потребителя. Общий перечень оборудования представлен в таблице 2. Необходимо отметить, что нагрузка со стороны таких потребителей, как силовая розеточная сеть, офисная техника, бытовая техника, ручной электроинструмент и т.п. рассчитана укрупненным методом и классификации не подлежит.

Под силовой розеточной сетью здесь понимается дополнительное оборудование, подключаемое работниками к сети для удовлетворения личных надобностей (зарядка мобильных телефонов и т.п.). Иначе говоря, это – резерв мощности.

Таблица 2 – Перечень электрооборудования магазина

Наименование оборудования	Режим работы	Фазность питания
Центральный сервер	ДР	1-ф
Тепловая завеса 1	ПКР, ПВ=60%	1-ф
Тепловая завеса 2	ПКР, ПВ=60%	3-ф
ЗУ погрузчика	ДР	1-ф
Кран-балка	ПКР, ПВ=25%	3-ф
Электрический привод ворот	ПКР, ПВ=40%	1-ф
Сверлильный станок	ПКР	3-ф
Токарный станок по металлу	ДР	3-ф
Приточная вентиляция	ДР	3-ф

Для точного расчета предполагаемой нагрузки произведем приведение приемников с повторно-кратковременным режимом работы, а также однофазных приемников к трехфазному долговременному режиму.

Приведем пример расчета для силового щита №2. К нему подключены электрический привод ворот и тепловая завеса - устройства с повторно-кратковременным режимом работы и однофазным питанием.

Первоначально выполним приведение мощности однофазного ПКР к длительному режиму работы:

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

Для электрического привода ворот:

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 1,0 \cdot \sqrt{0,4} = 0,63 \text{ кВт} \quad (2)$$

Для тепловой завесы:

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 3,0 \cdot \sqrt{0,6} = 2,32 \text{ кВт} \quad (3)$$

Произведем приведение полученной нагрузки к трехфазному режиму функционирования. Для этого распределим устройства по фазам с наибольшей возможной равномерностью. К фазам А и В подключим электрические приводы ворот, к фазе С – тепловую завесу.

$P_{\text{ф.нм}}$ – наибольшая нагрузка на фазе

$P_{\text{ф.нб}}$ – наименьшая нагрузка на фазе

$P_{\text{ЭП}}$ – приведенная мощность электропривода ворот

$P_{\text{ТЗ}}$ – приведенная мощность тепловой завесы

$$P_A = P_B = P_{\text{ф.нм}} = P_{\text{ЭП}} = 0,63 \text{ кВт} \quad (4)$$

$$P_C = P_{\text{ф.нб}} = P_{\text{ТЗ}} = 2,32 \text{ кВт} \quad (5)$$

Рассчитаем неравномерность распределения нагрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100\% = \frac{2,32 - 0,63}{2,32} \cdot 10^2 = 73\% > 15\% \quad (6)$$

$$P_y = P_{\text{нм.ф}} = 2,32 \text{ кВт} \quad (7)$$

Таким образом, суммарная нагрузка, требуемая для питания вышеозначенных приемников, подключенных к ЩС2 составила 2,32 кВт.

Произведем аналогичные расчеты для прочих ЭП здания и занесем полученные результаты в таблицу 3.

Для каждого из предложенных приемников с трехфазным питанием, расчет которых не произведен укрупненным способом дотоле, рассчитаем суммарную номинальную мощность путем умножения номинальной мощности единичного приемника на их количество. Приведен пример расчета для сверлильных станков, подключенных к ЩС4.

$$P_{\text{Нсумм.}} = P_{\text{ном}} \cdot n = 2,0 \cdot 2 = 4,0 \text{ кВт} \quad (8)$$

Далее необходимо определить коэффициент силовой сборки для щита силового №4. Для этого произведем сокращение дроби, в числителе которой – номинальная мощность наиболее мощного единичного приемника сборки, в знаменателе – наименее мощного. Продолжим выполнять расчет для ЩС4.

$$m = \frac{P_{\text{н max}}}{P_{\text{н min}}} = \frac{2,0}{3,0} = 1,5 < 3 \quad (9)$$

Далее определим активную и реактивную среднесменные нагрузки от группы сверлильных станков

$$P_{cm} = P_{Hcумм.} \cdot K_{и} = 4,0 \cdot 0,14 = 0,6 \text{ кВт} \quad (10)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \text{tg}\varphi = 0,6 \cdot 1,73 = 1,0 \text{ кВар} \quad (11)$$

Следующей очередью произведем расчет среднего коэффициента использования и среднего тангенса φ , коэффициента мощности для ЩС4:

$$K_{и. \text{ ср}} = \frac{\sum P_{cmсумм.}}{\sum P_{Hсумм.}} = \frac{9,50}{28,10} = 0,34 \quad (12)$$

$$\cos\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{cmсумм.}}{\sum S_{cmсумм.}} = \frac{\sum Q_{cmсумм.}}{\sqrt{P_{cmсумм.}^2 + Q_{cmсумм.}^2}} = \frac{5,5}{\sqrt{9,5^2 + 5,5^2}} = 0,87 \quad (13)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{cmсумм.}}{\sum P_{cmсумм.}} = \frac{5,53}{0,58} = 0,58 \quad (14)$$

Произведем определение числа приемников эффективного. Приемники, нагрузка которых определена укрупненным методом не учитываются, что позволит исключить недостаточную энергооснащенность.

$$n_{\text{э}} = n = 3 \text{ шт} \quad (15)$$

По [8] выполним определение расчетного коэффициента

$$K_p = 2,14 \quad (16)$$

Выполним определение активных и реактивных расчетных нагрузок рассматриваемых электроприемников.

$$P_p = P_{cm} \cdot K_p = 9,55 \cdot 2,14 = 20,43 \text{ кВт} \quad (17)$$

Так как принятое эффективное количество приемников $n_{\text{э}} < 10$,

$$Q_p = Q_{cm} = 5,53 \text{ кВар} \quad (18)$$

Таблица 3 – Сводка нагрузки, характерной для рассматриваемого здания

Наименование РУ и электро- приемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену					Нагрузка максимальная		
	Р _н , кВт	n	Р _н сумм., кВт	К _и	cos φ	tg φ	m	Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар	nэ	К _р	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ЩС1															
Офисная техника	-	-	8,0	0,75	0,95	0,33	-	6,0	2,0	-	-	-	-	-	-
Бытовая техника	-	-	13,5	0,15	0,95	0,33	-	2,0	0,7	-	-	-	-	-	-
Центральный сервер (1-ф)	1,2	1	1,2	0,9	0,95	0,33	-	1,1	0,4	-	-	-	-	-	-
Вытяжка	0,1	4	0,4	0,2	0,80	0,75	-	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-
Силовая розеточная сеть	-	-	1,5	0,5	0,95	0,33	-	0,8	0,2	-	-	-	-	-	-
Всего на ЩС1	-	5	24,6	0,40	0,95	0,33	≤3	9,9	3,3	5	1,76	17,5	3,6	17,9	27,1
ЩС2															
Ручной электроинструмент	-	-	4,0	0,2	0,65	1,17	-	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-
Холодильное оборуд-е	-	-	3,5	0,8	0,75	0,88	-	2,8	2,5	-	-	-	-	-	-
Стеновая подсветка	-	-	2,0	0,9	0,95	0,33	-	1,8	0,6	-	-	-	-	-	-
Тепловая завеса (1-ф)	3,0	1	0,9	0,3	0,75	0,88	-	0,3	0,2	-	-	-	-	-	-
Электропривод ворот (1-ф)	1,0	2	1,7	0,1	0,50	1,73	-	0,2	0,3	-	-	-	-	-	-
Всего на ЩС2	-	3	12	0,48	0,79	0,77	≤3	5,8	4,5	3	1,65	9,6	5,0	10,8	16,5

Продолжение таблицы 3

ЩСЗ															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ручной электроинструмент	-	-	4,0	0,2	0,87	0,56	-	0,8	0,4	-	-	-	-	-	-
Кран-балка	20,0	1	20,0	0,05	0,50	1,73	-	1,0	1,7	-	-	-	-	-	-
Тепловая завеса	12,0	2	24,0	0,25	0,80	0,75	-	6,0	4,5	-	-	-	-	-	-
ЗУ погрузчика (1-ф)	7,5	1	5,0	0,4	0,95	0,33	-	2,0	0,7	-	-	-	-	-	-
Электропривод ворот (1-ф)	1,0	2	2,5	0,1	0,50	1,73	-	0,3	0,4	-	-	-	-	-	-
Всего на ЩСЗ	-	6	56	0,18	0,79	0,77	≤3	10,1	7,8	6	2,24	22,5	8,5	24,1	36,6
ЩС4															
Офисная техника	-	-	6,5	0,75	0,95	0,33	-	4,9	1,6	-	-	-	-	-	-
Бытовая техника	-	-	8,6	0,15	0,95	0,33	-	1,3	0,4	-	-	-	-	-	-
Ручной электроинструмент	-	-	6,0	0,4	0,80	0,75	-	2,4	1,8	-	-	-	-	-	-
Сверлильный станок	2,0	2	4,0	0,14	0,50	1,73	-	0,6	1,0	-	-	-	-	-	-
Токарный станок по металлу	3,0	1	3,0	0,14	0,50	1,73	-	0,4	0,7	-	-	-	-	-	-
Всего на ЩС4	-	3	28,1	0,34	0,87	0,58	<3	9,5	5,5	3	2,14	20,4	5,5	21,2	32,2
ЩВ															
Приточная вентиляция	15	1	15,0	0,7	0,80	0,75	-	10,5	7,9	-	-	-	-	-	-
Всего на ЩВ	-	1	15	0,70	0,80	0,75	>3	10,5	7,88	1	1,43	15,0	7,9	17,0	25,8
На шинах низкого напряжения подстанции															
Всего на ШНН	-	-	-	-	-	-	-	22,58	17,33	-	-	85,06	30,57	90,39	-

Выполним определение расчетной нагрузки по силовому щиту:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{20,43^2 + 5,53^2} = 21,17 \text{ кВа} \quad (19)$$

В финальной фазе расчета нагрузки сборки определим расчетный ток, предельно необходимый для питания силового щита:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{21,17}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 32,20 \text{ А} \quad (20)$$

Аналогичным образом выполним расчет прочих силовых сборок. Результаты расчета занесем в таблицу 3.

Выводы по разделу

Итак, в результате выполнения раздела: «Анализ электрооборудования ТСЦ «Тольятти» выполнен анализ исходной информации об электрооборудовании объекта. Выявлено неудовлетворительное состояние сети электроснабжения. Она была поврежденной в результате пожара.

Сформирован план выполнения выпускной квалификационной работы, в результате чего определен порядок и объем предстоящей работы. Определены основные технические решения, применяемые в рамках ВКР. Их основной объем представлен в карточке технических решений. При выборе оборудования упор делался на устройства, аппараты и материалы отечественного производства.

Спрогнозирована электрической нагрузка реконструируемого здания. Использован метод расчетного коэффициента. Выявлено, что расчетная нагрузка без учета питания системы освещения и потерь в трансформаторе составила 90,39 кВА. Далее необходимо определить, какой вклад в общую нагрузку на шины внесет осветительная нагрузка.

2 Разработка системы освещения

Система освещения является исключительно важным элементом системы электроснабжения, который позволяет обеспечить комфортную среду для наиболее значимого в плане объема получаемых человеческим мозгом данных органа чувств – глаза.

Грамотно рассчитанная система освещения позволяет с одной стороны избежать избыточной энергооснащенности здания путем использования оптимального количества светильников, а с другой – предотвратить недостаточную освещенность помещений, которая является фактором, отрицательно сказывающимся на эффективности работы персонала и презентабельности интерьеров в целом, что особенно важно для помещений торгового центра.

2.1 Система рабочего освещения

В соответствии с таблицей 1 для рабочего освещения здания решено использовать светодиодные светильники производства компании ИЕК. Их преимущества описаны в конце предыдущего пункта данной ВКР.

Расчет методом удельной освещенности является недостаточно точным, поэтому для расчета системы освещения решено использовать инновационную программную среду DIALux. Высокая точность моделирования позволит добиться оптимальной конфигурации системы электроснабжения помещения. Для внутреннего рабочего освещения здания будем использовать три основных вида светильников:

- Светильник ДСП 1403 70Вт IP65
- Светильник ДСП 1401 40Вт IP65
- Светильник ДСП 1302Д 20Вт IP54

Подробные данные расчета количества светильников приведены в таблице 4. Нормы освещенности приняты по [9] для соответствующих типов помещений.

Таблица 4 – Сводная ведомость осветительной нагрузки здания

Наименование помещения	Номер по экспликации	Марка св-ка	P_n , кВт	Кол-во	$P_{n \text{ сумм.}}$, кВт	$E_{\text{ср. Расч.}}$, Лк	$E_{\text{ср. норм.}}$, Лк	h, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Большой торговый зал	1	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	48	3,36	337	300	5,0
Склад	2	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	36	2,52	304	75	5,0
Малый торговый зал №1	3	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	9	0,36	325	300	3,0
Малый торговый зал №2	4	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	9	0,36	333	300	3,0
Помещение охраны	5	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	8	0,32	333	300	3,0
Отдел маркетинга	6	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	8	0,56	524	400	3,0
Серверная	7	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	6	0,12	255	200	3,0
Мужской С/У	8	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	2	0,04	100	75	3,0
Женский С/У	9	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	2	0,04	100	75	3,0
Кладовая	10	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	1	0,02	83	50	3,0
Комната отдыха	11	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	3	0,12	399	300	3,0
Раздевалка	12	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	1	0,02	83	75	3,0
Бухгалтерия	13	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	36	2,52	476	400	3,0
Коридор	14	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	8	0,16	175	150	3,0
Электрощитовая	15	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	6	0,12	224	200	3,0
Венткамера	16	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	4	0,08	213	200	3,0

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Комната сервисного обслуживания	17	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	8	0,56	360	300	3,0
Отдел охраны труда	18	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	4	0,28	422	400	3,0
Проходное помещение	19	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	6	0,12	188	150	3,0
Юридический отдел	20	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	6	0,42	444	400	3,0
Комната отдыха	21	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	8	0,32	300	300	3,0
Кабинет директора	22	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	6	0,42	453	400	3,0
Мужской С/У	23	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	2	0,04	100	75	3,0
Женский С/У	24	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	2	0,04	100	75	3,0
Офисное помещение	25	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	4	0,16	510	400	3,0
Приемная	26	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	4	0,16	303	300	3,0
Коридор	27	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	8	0,16	175	150	3,0
ИТОГО/по светильникам	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	IEK ДСП 1302Д 20Вт	0,02	48	0,96	-	-	-
-	-	IEK ДСП 1401 40Вт	0,04	45	1,8	-	-	-
-	-	IEK ДСП 1403 70 Вт	0,07	152	10,64	-	-	-
ИТОГО	-	-	-	-	13,4	-	-	-

Необходимо отметить, что в ходе расчета рабочего освещения сделана поправка на необходимость применения аварийных светильников для обеспечения успешной эвакуации персонала и посетителей ТСЦ «Тольятти» в случае возникновения нештатных ситуаций. Помимо этого, аварийное освещение также будет выполнять роль дежурного, то есть светильники будут гореть круглосуточно, обеспечивая беспрепятственное перемещение по коридорам здания охраны и, при необходимости, обслуживающего персонала в темное время суток. Использование такой концепции обеспечивает, с одной стороны, высокую степень безопасности здания от проникновения извне (в совокупности с системой видеонаблюдения, данные с которой поступают на пост охраны). С другой стороны, обеспечивает явное повышение эргономичности внутреннего пространства здания, создавая непередаваемую атмосферу ночных коридоров и залов.

– Поскольку применяемые аварийные светильники марки L-industry имеют схожие с параметрами светильников компании IEK мощность и освещенность (свои аналоги для светильников: ДСП 1403 70Вт IP65, ДСП 1401 40Вт IP65, ДСП 1302Д 20Вт IP54 – соответственно.), конфигурирование системы аварийного освещения будет выполнено путем замены части обычных осветительных приборов на аварийные. Так как мощность соответствующих аварийных светильников не отличается от рабочих, мощность осветительной установки здания, необходимую для последующего расчета питающего трансформатора, определим по итоговым значениям для рабочего освещения.

В результате расчета выявлено, что мощность осветительной установки ТСЦ «Тольятти» составила 13,4 кВт. Далее определим основные параметры комплектации и монтажа системы аварийного освещения. От ее правильного функционирования зависят жизнь и здоровье людей, что делает эту задачу одной из наиболее важных и ответственных вех проектирования.

2.2 Система аварийного освещения

Аварийное освещение является важнейшим элементом системы обеспечения пожарной безопасности здания. Особенно это актуально для торгово-сервисного центра, в котором в течение суток может находиться не только штатный обслуживающий персонал, но и клиенты фирмы.

В соответствии с [9, п. 7.6.1], аварийное освещение подлежит подразделению на эвакуационное и резервное. Более наглядно данное деление представлено на рисунке 4



Рисунок 4 – Классификация аварийного освещения

Резервное освещение предусматривается лишь в тех случаях, когда необходимо продолжать работу на объекте даже в условиях аварийной ситуации. К торгово-сервисному центру данное утверждение не относится, поэтому в рамках данной ВКР остановимся на монтаже эвакуационного освещения, которое также будет выполнять и роль дежурного.

Так как рассматриваемый объект имеет вторую категорию надежности электроснабжения, а питание аварийного освещения должно осуществляться в соответствии с I-й категорией надежности в соответствии с [1], необходимо предусмотреть резервный источник питания групп, обеспечивающих функционирование аварийного освещения.

Компания L-industry совместно с группой компаний «Русэлт» предлагает комплексное решение по обеспечению надежности аварийного

освещения в различных условиях. Применение источников бесперебойного питания марки ИДП-1-1/1-1-220-Д с разъемом диспетчеризации RS-232. Данный разъем позволяет осуществлять удаленный контроль состояния ИБП. Блок питания оборудован аккумуляторным модулем АМ-2-100. В модуль устанавливаются два аккумулятора HRL 12-65 суммарной емкостью 130 А/ч. Источник бесперебойного питания позволяет обеспечить работу системы аварийного освещения в случае отключения питания в течение 1,3 часа.

Подключение модуля бесперебойного питания к пульту пожарного управления через разъем диспетчеризации позволяет в режиме реального времени отслеживать состояние батарейного модуля, уровень заряда батарей и готовность системы в целом.

Подключение светильников аварийного освещения к пульту пожарного управления осуществляется негорючим кабелем марки ВВГнг-FRLS повышенной огнестойкости. Его характеристики позволяют выдерживать прямое воздействие пламени в течение 180 минут в соответствии с [10]. Применение отдельной группы обеспечивает предельную автономию питания светильников аварийного освещения от рабочего.

В ходе проектирования аварийного освещения учитывается, что освещенность при активизации режима «Пожар» и отключении светильников рабочего освещения должна составить не менее 5 Лк с индексом цветопередачи не менее 40. В связи с тем, что ослепляющее действие светильников, применяемых для аварийного освещения, ограничено предельными значениями силы света, параметр ослепления при проектировании такого освещения не учитывается.

В результате расчета системы аварийного освещения определено, что для освещения ТСЦ Тольятти необходимо использовать:

- Светильников L-industry 20 Turbine – 10 шт.
- Светильников L-industry 40 Turbine – 8 шт.
- Светильников L-industry 70 Turbine – 8 шт.

Результирующее количество светильников, необходимых для освещения ТСЦ «Тольятти» представлено в таблице 5

Таблица 5 – Результирующее количество светильников

Марка светильника	Кол-во
IEK ДСП 1302Д 20Вт IP54	38
IEK ДСП 1401 40Вт IP65	37
IEK ДСП 1403 70Вт IP65	144
L-industry 20 Turbine	10
L-industry 40 Turbine	8
L-industry 70 Turbine	8

Выводы по разделу

Итак, в результате выполнения раздела: «Разработка системы освещения» произведена разработка систем рабочего и аварийного освещения ТСЦ «Тольятти».

Система рабочего освещения выполнена светодиодными светильниками производства компании IEK. Аварийное освещение питается от отдельной группы пульта пожарного управления кабелем с негорючей изоляцией. Включение в контур источника бесперебойного питания позволило обеспечить работу системы освещения объекта в случае отключения основного питания в течение 1,3 часа. Общая мощность системы освещения объекта составила 14,1 кВА. Общее количество использованных светильников – 245. Из них 26 используется для аварийного освещения объекта, а остальные – для рабочего. Далее приступим к определению конфигурации трансформаторной подстанции ТСЦ и мощности силового трансформатора

3 Выбор оборудования трансформаторной подстанции

Трансформаторная подстанция применяется для преобразования напряжения класса распределительной сети (в нашем случае – 10 кВ) к напряжению 0,4 кВ, от которого питаются электроустановки здания. В случае с ТСЦ «Тольятти» для питания электроустановки здания используется комплектная трансформаторная подстанция. Отличие комплектной трансформаторной подстанции от обычной заключается в использовании готового металлического корпуса, внутри которого монтируется полный комплект оборудования, необходимого для приема, преобразования и передачи потребителю электрической энергии. Внешний вид одного из вариантов комплектной трансформаторной подстанции представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Комплектная трансформаторная подстанция КТП-СЭЩ

Наиболее рациональным решением в рамках данного проекта является использование трансформаторной подстанции марки СЭЩ, производимой самарским производственным объединением «Электроцит Самара». Данные трансформаторные подстанции киоскового типа неприхотливы в обслуживании, имеют относительно невысокую стоимость. Завод по производству КТП находится в Самаре, что облегчает доставку оборудования

до места монтажа и ускоряет последующее исполнение гарантийных обязательств в случае наступления гарантийных случаев.

КТП-СЭЩ-У (универсального типа) комплектуются масляными силовыми трансформаторами марки ТМГ 10/0,4 диапазона мощностей 25 – 250 кВА в соответствии с [11]. В связи с тем, что питание основного здания ТСЦ «Тольятти» осуществляется по третьей категории в соответствии с [1], для питания принимается один силовой трансформатор. В соответствии с требованиями заказчика (руководство ТСЦ «Тольятти») для обеспечения резерва мощности необходимо, чтобы установленная мощность трансформатора составила не менее 140% от расчетной нагрузки здания.

Теперь следует выполнить итоговый расчет нагрузки КТП с учетом подключения осветительной установки здания. Первоначально по данным таблиц 3 и 4 определим итоговую нагрузку по зданию. Это значение необходимо для последующего расчета мощности силового трансформатора

$$P_{\text{сумм.}} = P_{\text{сумм.}}^{\text{CH}} + P_{\text{сумм.}}^{\text{OCB}} = 85,06 + 13,40 = 98,46 \text{ кВт} \quad (21)$$

$$Q_{\text{сумм.}} = Q_{\text{сумм.}}^{\text{CH}} + P_{\text{сумм.}}^{\text{OCB}} \cdot \text{tg } \varphi = 30,57 + 13,40 \cdot 0,33 = 34,99 \text{ кВт} \quad (22)$$

$$S_{\text{сумм.}} = \sqrt{P_{\text{сумм.}}^2 + Q_{\text{сумм.}}^2} = \sqrt{98,46^2 + 34,99^2} = 104,49 \text{ кВА} \quad (23)$$

В данном расчете:

S_{Σ}^{CH} – суммарная полная мощность силовой нагрузки, рассчитанная в таблице 3;

P_{Σ}^{CH} – суммарная активная мощность силовой нагрузки, рассчитанная в таблице 3;

Q_{Σ}^{CH} – суммарная реактивная мощность силовой нагрузки, рассчитанная в таблице 3;

P_{Σ}^{OCB} – активная мощность применяемого осветительного оборудования (таблица 4)

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности системы освещения.

Далее необходимо произвести определение мощности силового трансформатора, которым подстанция будет укомплектована на заводе, после

чего доставлена на строительную площадку. Необходимо учитывать, что нагрузка трансформатора в нормальном режиме должна составлять не более 70% от номинальной для соблюдения условия обеспечения резерва мощности.

$$S_p^{mp} = \frac{S_{\text{сумм.}}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{104,49}{0,7 \cdot 1} = 149,27 \text{ кВА} \quad (24)$$

В соответствии с каталогом производителя, представленным на сайте: [5] выбираем трансформатор ТМГ-СЭЩ-160/10/0,4 кВ. Его фотографию можно увидеть на рисунке 6. Базовые параметры выбранного трансформатора представлены в таблице 6



Рисунок 6 – Силовой трансформатор ТМГ-СЭЩ-100/10/0,4 кВ

Таблица 6 – Основные параметры трансформатора ТМГ-СЭЩ-100/10/0,4 кВ

Наименование параметра	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Потери холостого хода	ΔP_{xx}	кВт	0,56
Потери короткого замыкания	$\Delta P_{кз}$	кВт	3,30
Напряжение короткого замыкания	U_k	%	5,5
Ток холостого хода	I_{xx}	%	4,0

Произведем определение потерь в трансформаторе, которые также будут влиять на энергопотребление здания торгово-сервисного центра.

$$\Delta P_m = \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 0,56 + 0,70^2 \cdot 3,30 = 2,87 \text{ кВт} \quad (25)$$

$$\Delta Q_m = I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 4,00 + 0,70^2 \cdot 3,30 = 6,31 \text{ кВар} \quad (26)$$

здесь:

ΔP_m – потери активной мощности, которые являются неизбежными для одного трансформатора, кВт;

ΔQ_m – потери реактивной мощности, которые являются неизбежными для одного трансформатора, кВар.

Далее необходимо произвести определение итоговой нагрузки здания с учетом потерь в выбранном выше трансформаторе. Это обеспечит наиболее полную картину итогового значения расчетной потребляемой мощности.

$$P_{рп} = \Delta P_m + P_{сумм.} = 2,87 + 98,46 = 101,33 \text{ кВт} \quad (27)$$

$$Q_{рп} = \Delta Q_m + Q_{сумм.} = 6,31 + 34,99 = 41,30 \text{ кВар} \quad (28)$$

Определим полную мощность электроустановки торгово-сервисного центра:

$$S_{рп} = \sqrt{P_{рп}^2 + Q_{рп}^2} = \sqrt{101,33^2 + 41,30^2} = 109,42 \text{ кВА} \quad (29)$$

Произведем вычисление коэффициента мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{рп}}{S_{рп}} = \frac{101,33}{109,42} = 0,93 \quad (30)$$

Произведем проверку соответствия коэффициента мощности сети ТСЦ рекомендуемым параметрам. А именно, тангенс угла при гипотенузе треугольника мощностей должен быть предельно близок к значению 0,33. Большее его значение ведет к избытку реактивной мощности в сети, что негативно сказывается на ее пропускной способности, а меньшее значение означает так называемую перекомпенсацию, которая может привести к резонансу, что отрицательно влияет на работу оборудования. Результаты расчета коэффициента мощности представлены в таблице 7

Таблица 7 – Данные для расчета компенсирующего устройства

Параметр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{\text{рп}}$, кВт	$Q_{\text{рп}}$, кВАр	$S_{\text{рп}}$, кВА
Всего на НН без КУ	0,93	0,39	101,33	41,30	109,42

В результате расчета выявлено, что тангенс угла φ незначительно превышает значение 0,33. Однако, в условиях ограниченного бюджета признано более целесообразным отказаться от компенсации реактивной мощности в связи с невысокой суммарной мощностью электроустановки. Еще одним аргументом в пользу данного решения является тот факт, что реактивная мощность не проходит учет в стандартном счетчике электрической энергии, влияя только на пропускную способность части применяемых проводников. В рамках данной ВКР решено компенсирующее устройство не использовать.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела «Выбор оборудования трансформаторной подстанции» определен состав оборудования, обеспечивающего основное питание здания. В качестве такового решено использовать КТП производства компании «Электроцит Самара». КТП комплектуется трансформатором марки ТМГ-СЭЩ-160/10/0,4 кВ. Расчетные потери в трансформаторе составили 2,87 кВт и 6,31 кВАр для активной и реактивной нагрузок – соответственно. Коэффициент загрузки трансформатора при расчетной нагрузке составляет 0,68. Это обеспечит наличие резерва мощности на случай подключения дополнительных потребителей.

В ходе следующего пункта существует необходимость выбора оборудования сети электроснабжения, а именно – проводников питающий сети здания и автоматических выключателей, с помощью которых осуществляется защита цепей от перегрузок и коротких замыканий.

4 Выбор оборудования сети электроснабжения

Выбор оборудования сети электроснабжения является неотъемлемым элементом проектирования электроустановки здания. Данный пункт, являясь одним из ключевых для формирования итоговой сметы проекта определяет результирующую конфигурацию сети, позволяя с точностью сказать, какие проводники будут использоваться для подключения того, или иного оборудования или распределительного устройства.

Еще одним немаловажным аспектом является в данном случае вопрос выбора защитного оборудования, которое позволяет не опасаться повреждения сети электроснабжения, а в некоторых случаях – и самого здания в результате перегрузки сети или короткого замыкания.

Сначала производится выбор проводников распределительной сети здания. Необходимо уточнить, что граница балансовой принадлежности ТСЦ находится в районе вводов высокого напряжения трансформатора КТП, следовательно, монтаж проводника для подключения трансформатора к воздушной линии является прерогативой сетевой компании. Таким образом, необходимо выбрать марку и сечение кабеля, используемого для подключения трансформатора к распределительному пункту, для питания от последнего силовых щитов, а также – для подключения силовой и осветительной нагрузки здания.

После этого производится расчет коммутационно-защитных аппаратов. Такой порядок вычислений обусловлен тем фактом, что автоматические выключатели, зачастую применяемые в качестве защитно-коммутационного оборудования, выстраиваются в соответствии с длительно допустимым током кабеля, обеспечивая его защиту. Проще говоря, в расчете автоматов фигурирует не расчетная нагрузка здания, а длительно допустимый ток проводника, определяемый по заявленным производителем, либо приведенным в стандарте данным. Приступим к выбору проводников сети электроснабжения.

4.1 Выбор проводников сети электроснабжения

Проводники служат для формирования устойчивой электрической связи между токоведущими элементами приемников и источников электрической энергии. Применение изоляции позволяет избежать возникновения взаимного контакта различных фазных и нейтрального провода. Существуют различные типы проводников в зависимости от выбранной схемы электроснабжения, условий прокладки кабеля и иных характерных особенностей данной сети электроснабжения.

Прежде чем приступать к выбору проводников, необходимо определить режим систему заземления, применяемую на объекте. От системы заземления будет зависеть число жил питающих кабелей и, следовательно, объем затрачиваемых на их приобретение денежных средств. Наиболее часто применяемыми в гражданском строительстве являются системы заземления TN-C, TN-S и TN-C-S. Первая из них – наиболее старая система, в которой нейтральный проводник совмещает в себе функции нулевого и защитного провода. Вторая система – более современная, отличающаяся повышенным уровнем безопасности. Для нее характерно наличие разделения нулевого и защитного проводников на всем протяжении сети. Система TN-C-S появилась позже и используется для экономии денежных средств. Ее схема подразумевает разделение нулевого и защитного проводников между потребителем и распределительным пунктом, на котором защитные проводники объединяются. Это позволяет уменьшить стоимость электроустановки путем снижения количества жил кабеля, соединяющего ВРУ здания с шинами подстанции. Уровень безопасности при этом сохраняется на приемлемом уровне. Единственным минусом является возможность возникновения опасного напряжения на заземляемых частях приборов и оборудования в случае отгорания PEN проводника, идущего с подстанции, поэтому к защите таких проводников применяются особые требования. В частности, применение такой системы в сельской местности,

где питание объектов осуществляется преимущественно по воздушным линиям, крайне нежелательно.

Однако, поскольку в нашем случае расстояние от КТП до ВРУ незначительно, а питание осуществляется кабелем, использование подобной схемы вполне оправдано. Общий вид системы TN-C-S представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Схема соединения нейтрали TN-C-S

Резюмируя вышеизложенной хочется еще раз подчеркнуть, что, таким образом, для соединения шин низкого напряжения КТП с ВРУ будет использоваться четырехжильный кабель, а для питания силовых щитов и приемников – пятижильный.

В рамках определения основных параметров используемого оборудования и материалов решено:

– Для присоединения шин НН подстанции к ВРУ здания использовать четырехжильный кабель АПвБШв, производимый компанией ООО «Камский кабель». Данный проводник имеет алюминиевые жилы, изоляцию из силанольсшитого полиэтиленового материала, бронепокровные

оцинкованные ленты, устойчивые к коррозированию. Внешний покров выполняется из ПВХ шланга.

– Для питания потребителей внутри здания торгово-сервисного центра применять кабель ВВГнг(А)-LS, производимый компанией ООО «Камский кабель». Данный кабель с медными жилами имеет несколько более высокую стоимость по отношению к аналогичным проводникам из алюминиевого сплава, однако отличается более высокой простотой монтажа и долговечностью. Поясная и фазная изоляция изготовлена из поливинилхлоридной изоляции, не поддерживающей горение. Пониженное дымогазовыделение в случае попадания в очаг возгорания препятствует активному росту задымления.

– Для питания аварийного освещения от пульта пожарного управления (ППУ) использовать кабель ВВГнг-FRLS, производства компании ООО «Камский кабель». Принципиальное отличие данного проводника от обычного кабеля марки ВВГнг-LS заключается в его устойчивости к открытому огню (FR – fire resist). Огнестойкость достигается использованием слоя изоляции из двух содержащих слюду лент, проходящих по каждой жиле кабеля.

В ходе расчета токовые нагрузки, являющиеся допустимыми, определяются в соответствии с [1]

Методика определения сечений изложена в [8]

В соответствии с данным выкладками произведем выбор проводников кабельной сети. В связи с тем, что помещение торгово-сервисного центра не является взрывопожароопасным, коэффициент защиты, вводимый для повышения устойчивости проводников к нагреву, примем равным 1. Прокладка кабеля будет осуществляться в перфорированных лотках, закрытых крышками (для помещений склада и большого торгового зала, а также - коридоров), а также – в штробе, выдолбленной в стенах помещений или в кабельном канале (в зависимости от типа перегородки).

– Определим сечение кабеля АПвБШв, применяемого для питания ВРУ ТСЦ «Тольятти»

Первоначально рассчитаем ток, питающий ВРУ в режиме максимальной нагрузки на основании мощности, определенной в пункте б данной ВКР:

$$I_p = \frac{S_{\text{сумм.}}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = \frac{104,49}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 158,94 \text{ А} \quad (31)$$

По рассчитанному току выберем кабель АПвБШв 4x70. Длительно допустимый ток такого кабеля составляет 178 А. Аналогичным образом произведем выбор кабелей, питающих силовые щиты и отдельные проводники. Результаты выбора кабелей сведем в таблицу 8. Расчетные токи линий примем по данным таблицы 3.

В соответствии с требованием пункта 7.1.34 [1] сечение кабеля, питающего ППУ примем равным 2,5 мм². По данным, полученным из смежного раздела проектирования, нагрузка ППУ не превышает 10 кВт, поэтому для его питания применяется кабель минимально допустимого по конструктивной прочности сечения. Марка кабеля – ВВГнг-FRLS.

Для подключения силовых щитов к ВРУ будем использовать кабель сечением не менее 4 мм² для обеспечения резерва мощности. Для групповых сетей, питающих силовое оборудование (силовая розеточная сеть) применим кабель сечением не менее 2,5 мм². Для осветительной нагрузки будем использовать проводники сечением 1,5 мм² – кабель ВВГнг-LS 2x1,5 для рабочего освещения и кабель ВВГнг-FRLS 2x1,5 – для аварийного.

Учтем, что сечение кабеля, питающего силовой щит должно быть не меньше сечения кабеля, питающего наиболее мощный приемник, подключенный к данному щиту.

Таблица 8 – Сводная ведомость проводников торгово-сервисного центра

Кабель						
№ п/п	Обозначение	I_p, A	Марка	п жил	$S, мм^2$	I_d, A
1	ШНН ТП - ВРУ	158,94	АПВБШв	4	70	178
Групповые линии						
Объект питания			Кабель			
№ п/п	Обозначение	I_p, A	Марка	п жил	$S, мм^2$	I_d, A
1	ВРУ - ЩС1	27,1	ВВГнг-LS	5	4	34
2	ВРУ - ЩС2	16,5	ВВГнг-LS	5	4	34
3	ВРУ - ЩС3	36,6	ВВГнг-LS	5	25	107
4	ВРУ - ЩС4	32,2	ВВГнг-LS	5	4	34
5	ВРУ - ЩВ	25,8	ВВГнг-LS	5	4	34
6	ВРУ-ППУ	16	ВВГнг-FRLS	5	2,5	26
Питание приемников по отдельным группам						
ЭП			Кабель			
№ п/п	Наименование	I_p, A	Марка	п жил	$S, мм^2$	I_d, A
1	Сервер	5,74	ВВГнг-LS	2	1,5	20
2	Тепловая завеса №1	18,18	ВВГнг-LS	2	2,5	26
3	Тепловая завеса №2	22,82	ВВГнг-LS	5	2,5	26
4	ЗУ погрузчика	35,89	ВВГнг-LS	2	6	46
5	Кран-балка	60,85	ВВГнг-LS	5	16	81
6	Электрический привод ворот	9,09	ВВГнг-LS	2	1,5	20
7	Сверлильный станок	6,08	ВВГнг-LS	5	1,5	20
8	Токарный станок по металлу	9,13	ВВГнг-LS	5	1,5	20
Прочие групповые линии						
№ п/п	Наименование	I_p, A	Марка	п жил	$S, мм^2$	I_d, A
1	Силовая розеточная сеть	16	ВВГнг-LS	3	2,5	26
2	Сеть рабочего освещения	10	ВВГнг-LS	2	1,5	20
3	Сеть аварийного освещения	10	ВВГнг-FRLS	2	1,5	20

Таким образом, в результате произведенного расчета выполнен выбор кабелей. Далее существует необходимость произвести выбор аппаратов защиты, которые позволят избежать нежелательных последствий перегрузок и коротких замыкания в цепи.

4.2 Выбор аппаратов защиты

Аппараты защиты играют ключевую роль в формировании электроустановки здания, одновременно обеспечивая коммутацию и защиту проводников от перегрузок и коротких замыканий. Такая многофункциональность присуща, в первую очередь, автоматическим выключателям.

В случае с вводно-распределительным устройством и силовыми щитами ТСЦ «Тольятти» целесообразным является применение автоматических выключателей производства компании IEK. Оборудование этой фирмы, как уже было сказано ранее, отличается приемлемой надежностью в сочетании с относительно невысокой ценой.

Компания IEK вот уже более 20 лет позиционирует себя на рынке электротехнического оборудования как ответственный поставщик высококлассного оборудования и комплектующих. Такой внушительный срок интеграции в отечественный рынок не мог не сказаться положительно на качестве продукции, уровне оптимизации производства и подготовке персонала компании как в техническом, так и в экономико-управленческом аспектах.

Для применения в схеме питания объекта рассмотрим две основных модели выключателя. Обе модели имеют модульный принцип крепления. Они монтируются на DIN рейку, либо специальное крепление, которым укомплектовано вводно-распределительное устройство и силовые щиты.

- ВА47-29 IEK – для номинальных токов 0,5-63 А
- ВА47-150 IEK – для номинальных токов 80-125 А
- ВА 88-33 IEK – для номинальных токов выше 125 А

Для коммутации трехфазной сети используются трехполюсные выключатели, а для коммутации однофазной – однополюсные.

Приведем пример выбора коммутационного аппарата для линии, питающей кран-балку – наиболее мощный единичный приемник.

На рисунке 8 а изображен однополюсный модульный автоматический выключатель ВА47-29 IEK, а на рисунке 8 б – трехполюсный аппарат ВА47-150 IEK. Изображение автоматического выключателя ВА88-33 приведено на рисунке 9



Рисунок 8 – Однополюсный автоматический выключатель ВА47-29 IEK (а) и трехполюсный автоматический выключатель ВА47-150 IEK



Рисунок 9 – Трехполюсный автоматический выключатель ВА88-33

Аппарат защиты, устанавливаемый в линию питания приемника должен соответствовать нескольким условиям. Во-первых, номинальный ток

срабатывания его расцепителя не должен превышать длительно допустимый ток кабеля:

$$I_{нр} \leq I_{д} \quad (32)$$

Во-вторых, номинальный ток электромагнитного расцепителя, рассчитанного на распознавание и отключение коротких замыканий не должен быть больше величины пускового тока подключаемого электродвигателя (в случае наличия в цепи такового). Это также отражено в [14]. Пусковой ток определяется путем умножения расчетного тока приемника на пусковой коэффициент с учетом запаса в 20%. Следовательно,

$$I_o > 1,2 \cdot K_{п} \cdot I_p \quad (33)$$

В-третьих, номинальный ток расцепителя должен быть выше расчетного тока линии, чтобы избежать отключений при нормальной работе. То есть:

$$I_{нр} > I_p \quad (34)$$

Основные параметры кран-балки, которые потребуются для расчета приведены в таблице 9. Значения расчетного длительно допустимого токов приняты в соответствии с результатами расчета, произведенного в рамках пункта 7.1.

Таблица 9 – Исходные параметры для выбора аппарата защиты линии питания кран-балки

№ п/п	Наименование	Обозн.	Ед. изм.	Знач.
1	Расчетный ток линии	I_p	А	60,9
2	Допустимый ток питающего кабеля	$I_{д}$	А	81,0
3	Пусковой коэффициент	$K_{п}$	-	6,5

На основании данных таблицы 9 определим основные требования к выбираемому автоматическому выключателю:

$$1,2 \cdot K_{\text{п}} \cdot I_{\text{р}} = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 60,9 = 475,02 \text{ А} \quad (35)$$

$$I_{\text{нр}} \leq 81,0 \quad (36)$$

$$I_{\text{о}} > 475,02 \quad (37)$$

$$I_{\text{нр}} > 60,9 \quad (38)$$

По данным условиям для установки в линию подходит автоматический выключатель ВА47-150 3Р 80А 15кА D IEK:

$$I_{\text{нр}} = 80 \text{ А} \quad (39)$$

$$I_{\text{о}} = 800 \text{ А} \quad (40)$$

Тогда:

$$80 \leq 81,0 \quad (41)$$

$$800 > 475,02 \quad (42)$$

$$80 > 60,9 \quad (43)$$

Так как все вышеприведенные условия соблюдены, выключатель принимается для установки в линию.

Расчет автоматических выключателей для прочих линий произведем аналогичным образом. Результаты расчета сведем в таблицу 10.

Следует отметить, что при выборе аппаратов защиты более высокой степени необходимо соблюдать принцип селективности (более подробно – в [13]). Иначе говоря, сначала должны сработать выключатели более низкой степени, например, защищающий отдельные группы, а уже потом, если этой меры недостаточно – вводной выключатель силового шкафа. Расположение силового выключателя в линиях с двухсторонней защитой показано звездочкой (*) в графе «обозначение». В щите вентиляции предусмотрена собственная система коммутации, аппарат защиты устанавливается только в ВРУ.

Таблица 10 – Сводная ведомость аппаратов защиты ТСЦ «Гольятти»

Линия		U _н , кВ	I _р , А	I _д , А	1,2·I _{пик} , А	Аппарат защиты		
№	Обозначение					Марка	I _н , А	I _о , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Автоматический выключатель на линии, отходящей от КТП:								
1	ШНН КТП* - ВРУ	0,4	158,94	178	474,6	ВА88-33	160	500
Вводной автоматический выключатель ВРУ:								
1	ШНН КТП - ВРУ*	0,4	158,94	178	474,6	ВА88-33	160	1600
Автоматические выключатели отходящих линий ВРУ:								
1	ВРУ* - ЩС1	0,4	27,1	34,0	-	ВА47-29 3P C	32	160
2	ВРУ* - ЩС2	0,4	16,5	34,0	141,8	ВА47-29 3P C	32	160
3	ВРУ* - ЩС3	0,4	36,6	107,0	474,6	ВА47-150 3P C	100	500
4	ВРУ* - ЩС4	0,4	32,2	34,0	71,19	ВА47-29 3P C	32	160
5	ВРУ* - ЩВ	0,4	25,8	34,0	201,24	ВА47-29 3P D	32	320
Вводные коммутационно-защитные аппараты силовых шкафов								
1	ВРУ - ЩС1*	0,40	27,1	34,0	-	ВА47-29 3P D	32	160
2	ВРУ - ЩС2*	0,40	16,5	34,0	141,8	ВА47-29 3P D	32	160
3	ВРУ - ЩС3*	0,40	36,6	107,0	474,6	ВА47-150 3P D	100	500
4	ВРУ - ЩС4*	0,40	32,2	34,0	71,2	ВА47-29 3P D	32	160

Продолжение таблицы 10

Аппараты защиты отходящих линий питания отдельных потребителей								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ЩС1* - Сервер	0,22	5,7	20,00	-	ВА47-29 1P C	20	100
2	ЩС2* - Тепловая завеса №1	0,22	18,2	26	141,8	ВА47-29 1P D	25	250
3	ЩС2* - Электропривод ворот	0,22	9,1	20	70,9	ВА47-29 1P C	20	100
4	ЩС3* - Кран-балка	0,40	60,8	26	178,0	ВА47-29 3P D	25	250
5	ЩС3* - Тепловая завеса №2	0,22	22,8	81	474,6	ВА47-150 3P D	80	800
6	ЩС3* - ЗУ погрузчика	0,22	35,9	46	-	ВА47-29 1P C	40	200
7	ЩС3* - Электропривод ворот	0,22	9,1	20	70,9	ВА47-29 1P C	20	100
8	ЩС4* - Сверлильный станок	0,22	6,1	20	47,5	ВА47-29 3P C	20	100
9	ЩС4* - Токарный станок по металлу	0,22	9,1	20	71,2	ВА47-29 3P C	20	100
Аппараты защиты отходящих линий питания иной групповой нагрузки								
1	Силовая розеточная сеть	0,22	16	26	-	ВА47-29 1P C	25	125
2	Сеть рабочего освещения	0,22	10	20	-	ВА47-29 1P C	20	100
3	Сеть аварийного освещения	0,22	10	20	-	ВА47-29 1P C	20	100

Выводы по разделу

Итак, в результате выполнения раздела: «Выбор оборудования сети электроснабжения» определен состав проводников и защитно-коммутационного оборудования здания. Применена система заземления TN-S с разделением рабочего и защитного заземления на шинах ВРУ. Для присоединения ШНН КТП к ВРУ использован кабель АПвБШв 4x70. Кабель проложен в траншее, в ПНД трубе. Для подключения приемников в пределах здания использованы кабели марки ВВГнг(А)-LS. Они прокладываются в кабельных лотках – в пределах большого торгового зала и склада и в штробе, либо кабельном канале – в пределах офисных помещений. Сечения кабелей варьируются от 1,5 до 25 мм².

Для установки в линию ШНН ТП – ВРУ использованы выключатели марки ВА88-33. Они устанавливаются на специальный кронштейн и имеют регулируемые уставки теплового и электромагнитного расцепителя. Селективность в данной линии достигается разграничением времени срабатывания аппаратов защиты, а также отстройкой электромагнитного расцепителя по току.

Линии, соединяющие ВРУ ТСЦ с силовыми щитами, оборудуются модульными автоматическими выключателями. Применяются как автоматы на отходящих линиях, монтируемые в корпусе ВРУ, так и вводные автоматы силовых шкафов. Обеспечивается токовая селективность. Все автоматы трехполюсные.

Далее следует произвести проверку отключающей способности выбранных устройств защиты. Для этого необходимо произвести расчет токов короткого замыкания, которые протекают в различных ступенях сети электроснабжения здания.

5 Расчет токов короткого замыкания

Короткое замыкание (КЗ) – пример аварийного режима работы сети, при котором электрическая связь возникает в точке схемы, в которой это не предусмотрено. Причины подобной ситуации могут быть самыми разнообразными – начиная с повреждения изоляции в результате воздействия механических средств или старением в результате воздействия времени, ультрафиолета или повышенных температур и заканчивая заводским браком изолирующих покрытий.

Последствия коротких замыканий включают в себя различные негативные факторы. Повышенные токи приводят к перегреву токоведущих частей вплоть до температуры плавления металл. Воздействие повышенной температуры вызывает возгорание изоляции и имущества, находящегося в непосредственной близости от точки КЗ. Пожар может привести к человеческим жертвам и почти всегда вызывает материальные потери.

Учитывая, что, в соответствии с заключением экспертной комиссии, именно короткое замыкание спровоцировало пожар в электроустановке ТСЦ «Тольятти» 28-го января 2020 года, точное определение токов КЗ для последующей проверки целесообразности использования в данной сети выбранного в предыдущем пункте защитного оборудования является ответственной задачей.

Определение токов короткого замыкания производится в соответствии с методикой, общий принцип которой основан на применении закона Ома – первоначально определяется суммарное сопротивление цепи до точки короткого замыкания, после чего вычисляется ток КЗ.

Для полноты картины выбирается три вероятных точки КЗ. Первая из них расположена на шинах распределительного устройства (в нашем случае это – ВРУ. Вторая точка устанавливается на РУ, к которому подключен наиболее мощный из приемников, а третья – на зажимах вышеозначенного ЭП. В нашем случае в качестве РУ выступает силовой щит №3 (ЩС-3), а в

качестве расчетного электроприемника – кран-балка, так как этот приемник – самый мощный из рассматриваемых. Данная методика более подробно изложена в [12].

Первоначально необходимо определить параметры схемы замещения.

Начнем с определения линейных характеристик рассматриваемой цепи:

- Длина кабеля КТП – ВРУ: $l_1 = 7,0$ м
- Длина кабеля ВРУ – ЩС-3: $l_2 = 51,0$ м
- Длина кабеля ЩС-3 – Кран-балка: $l_3 = 55,0$ м

Схема описанной цепи изображена на рисунке 10.

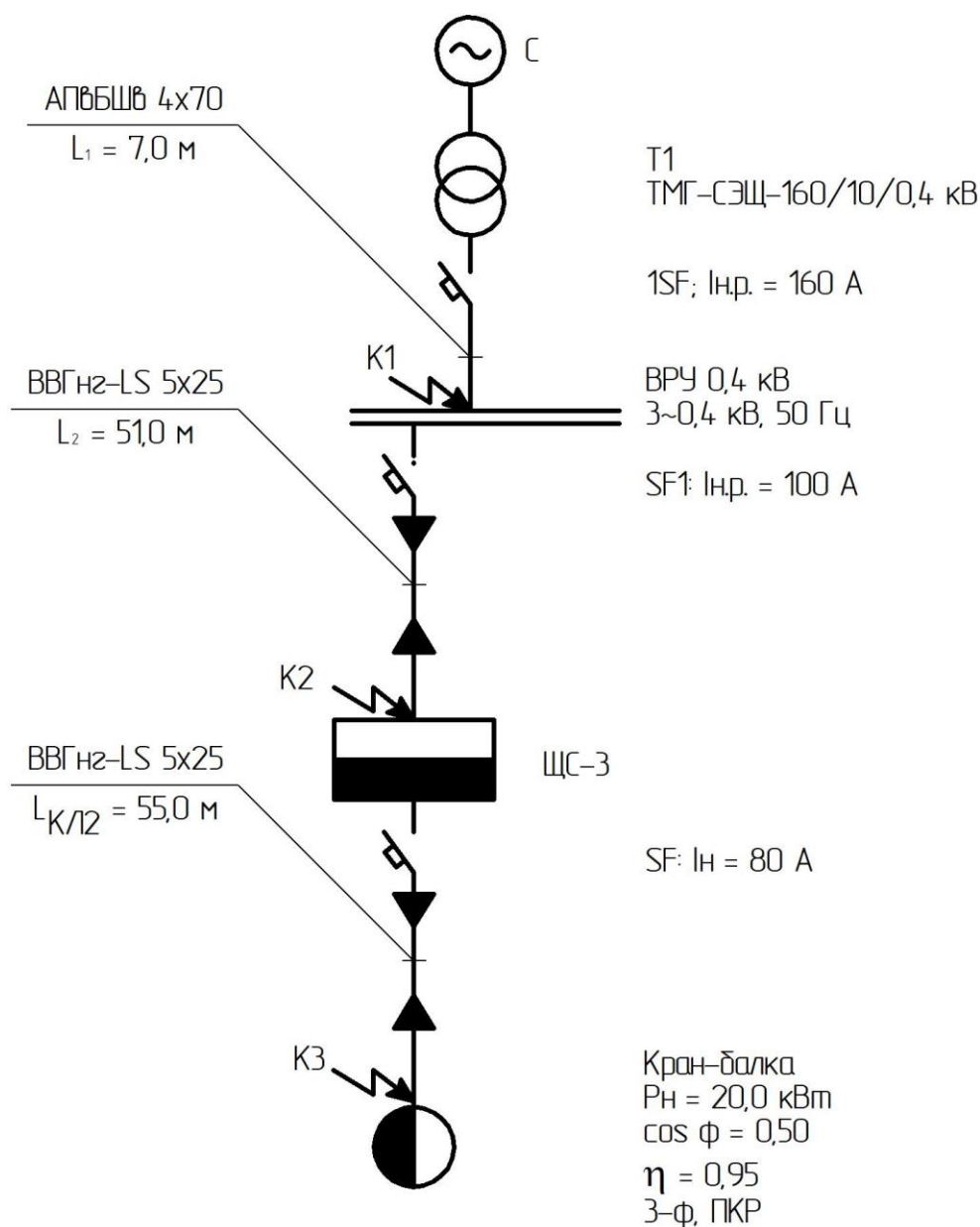


Рисунок 10 – Схема для расчета короткого замыкания

В соответствии с расчетной схемой произведем формирование схемы замещения, в ходе определения параметров которой вычислим данные сопротивлений, определяющие значение тока короткого замыкания. Схема замещения представлена на рисунке 11.

Определим параметры схемы замещения на основе данных, которые предоставлены электросетевой организацией, осуществляющей подключение ТСЦ.

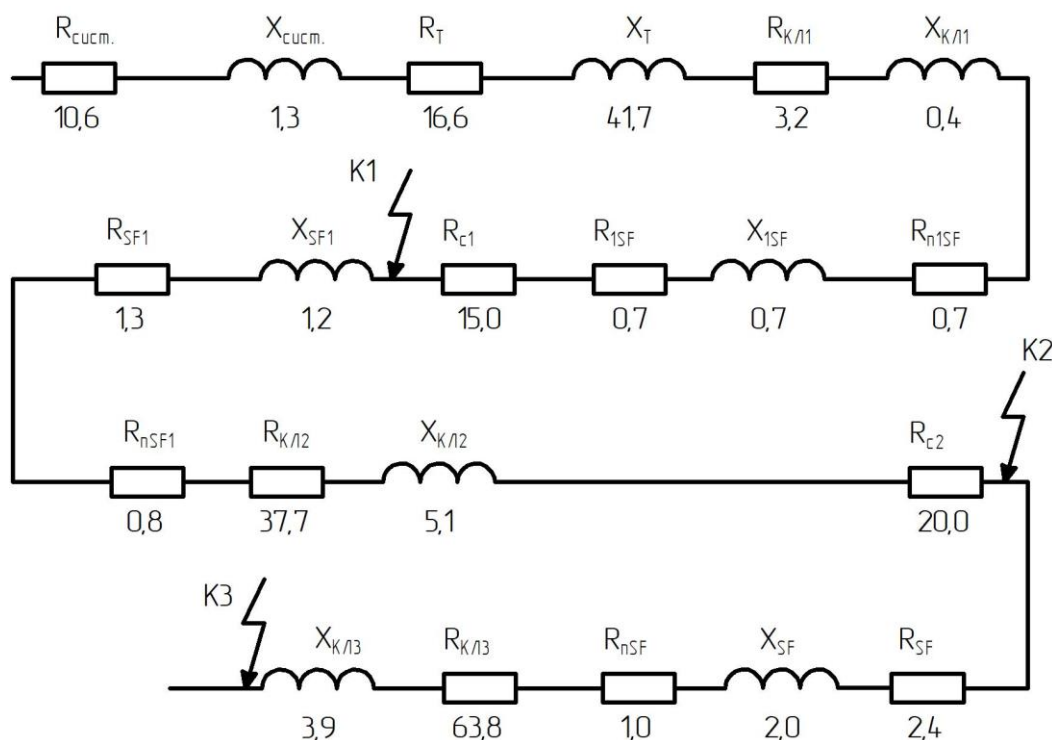


Рисунок 11 Схема замещения расчетной цепи

$$X'_c = 0,8 \text{ Ом} \quad (44)$$

$$R'_c = 6,6 \text{ Ом} \quad (45)$$

Выполним приведение вышеозначенных сопротивлений к напряжению низшей ступени трансформации

$$R_c = R'_c \cdot \left(\frac{V_{нн}}{V_{вн}} \right)^2 = 6,6 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 10,56 \text{ мОм} \quad (46)$$

$$X_c = X'_c \cdot \left(\frac{V_{нн}}{V_{вн}} \right)^2 = 0,8 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 1,28 \text{ мОм} \quad (47)$$

По [8, с 61] определим сопротивление трансформатора

$$R_T = 16,6 \text{ мОм} \quad (48)$$

$$X_T = 41,7 \text{ мОм} \quad (49)$$

$$Z_T = 45,0 \text{ мОм} \quad (50)$$

По [8, с 61] выполним определение параметров автоматических выключателей

$$- 1\text{SF}: R_{1\text{SF}} = 0,7 \text{ мОм}; X_{1\text{SF}} = 0,7 \text{ мОм}; R_{n1\text{SF}} = 0,7 \text{ мОм}$$

$$- \text{SF1}: R_{\text{SF1}} = 1,3 \text{ мОм}; X_{\text{SF1}} = 1,2 \text{ мОм}; R_{n\text{SF1}} = 0,8 \text{ мОм}$$

$$- \text{SF}: R_{\text{SF}} = 2,4 \text{ мОм}; X_{\text{SF}} = 2,0 \text{ мОм}; R_{n\text{SF}} = 1,0 \text{ мОм}$$

Определим параметры кабельных линий, присутствующих в расчетной схеме (страница 62 прежнего источника):

КЛ1 (АПВБШВ 4x70):

$$r_0 = 0,46 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,06 \frac{\text{мОм}}{\text{м}} \quad (51)$$

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,467,00 = 3,22 \text{ мОм} \quad (52)$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,067,00 = 0,42 \text{ мОм} \quad (53)$$

КЛ2 (ВВГнг(А)-LS 5x25):

$$r_0 = 0,74 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,091 \frac{\text{мОм}}{\text{м}} \quad (54)$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,7451 = 37,74 \text{ мОм} \quad (55)$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,151,0 = 5,10 \text{ мОм} \quad (56)$$

КЛ3 (ВВГнг(А)-LS 5x16)

$$r_0 = 1,16 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,07 \frac{\text{мОм}}{\text{м}} \quad (57)$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 1,1655,00 = 63,80 \text{ мОм} \quad (58)$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,0755,00 = 3,85 \text{ мОм} \quad (59)$$

Для ступеней распределения обобщенно примем следующие значения сопротивлений: [8, с 62]:

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм}; \quad (60)$$

$$R_{c2} = 20 \text{ мОм} \quad (61)$$

Результаты, полученные в ходе расчета, занесем в схему замещения, которая была изображена ранее на рисунке 11.

Затем выполним определение параметров упрощенных параметров схемы замещения путем определения эквивалентного сопротивления и занесем эти данные на схему, которая изображена на рисунке 12

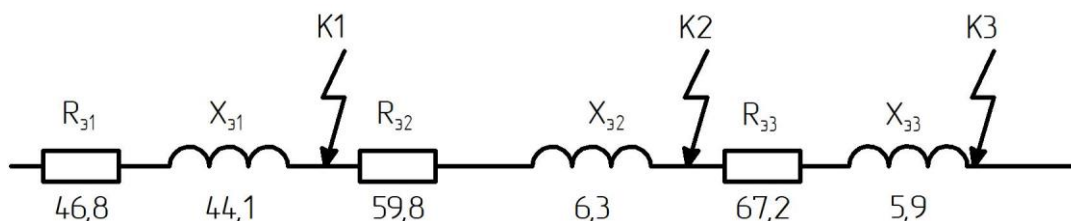


Рисунок 12– Схема эквивалентных сопротивлений

Вычисляем активную составляющую сопротивления:

$$R_{\text{э1}} = R_{\text{сум}} + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{KЛ1} + R_{c1} \quad (62)$$

$$R_{\text{э1}} = 10,6 + 16,6 + 3,2 + 0,7 + 0,7 + 15,0 = 46,8 \text{ мОм}$$

Вычисляем реактивную составляющую сопротивления:

$$X_{\text{э1}} = X_{\text{сум}} + X_T + X_{1SF} + X_{III} \quad (63)$$

$$X_{\text{э1}} = 1,3 + 41,7 + 0,4 + 0,7 = 44,1 \text{ мОм}$$

Эквивалентное активное сопротивление до точки №2:

$$R_{\text{э2}} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{KЛ2} + R_{c2} \quad (64)$$

$$R_{\text{э2}} = 1,3 + 0,8 + 37,7 + 20,0 = 59,8 \text{ мОм}$$

Рассчитываем прочие эквивалентные сопротивления:

$$X_{\text{э2}} = X_{SF1} + X_{KЛ2} = 1,2 + 5,1 = 6,3 \text{ мОм} \quad (65)$$

$$X_{\text{э2}} = X_{SF1} + X_{KЛ2} = 1,2 + 5,1 = 6,3 \text{ мОм} \quad (66)$$

$$R_{\text{э3}} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{KЛ3} = 2,4 + 1,0 + 63,8 = 67,2 \text{ мОм} \quad (67)$$

$$X_{\text{э3}} = X_{\text{SF}} + X_{\text{КЛЗ}} = 2,0 + 3,9 = 5,9 \text{ мОм}$$

Сопротивления до точек КЗ. Полученные данные определим в таблицу

11

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{э1}} = 46,8 \text{ мОм} \quad (68)$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{э1}} = 44,1 \text{ мОм} \quad (69)$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{46,8^2 + 44,1^2} = 64,3 \text{ мОм} \quad (70)$$

$$R_{\text{К2}} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}} = 46,8 + 59,8 = 106,6 \text{ мОм} \quad (71)$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\text{э1}} + X_{\text{э2}} = 44,1 + 6,3 = 50,4 \text{ мОм} \quad (72)$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{R_{\text{К2}}^2 + X_{\text{К2}}^2} = \sqrt{106,6^2 + 50,4^2} = 117,9 \text{ мОм} \quad (73)$$

$$R_{\text{К3}} = R_{\text{К2}} + R_{\text{э3}} = 106,6 + 67,2 = 173,8 \text{ мОм} \quad (74)$$

$$X_{\text{К3}} = X_{\text{К2}} + X_{\text{э3}} = 50,4 + 5,9 = 56,3 \text{ мОм} \quad (75)$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{R_{\text{К3}}^2 + X_{\text{К3}}^2} = \sqrt{173,8^2 + 56,3^2} = 182,7 \text{ мОм} \quad (76)$$

$$\frac{R_{\text{К1}}}{X_{\text{К1}}} = \frac{46,8}{44,1} = 1,06 \quad (77)$$

$$\frac{R_{\text{К2}}}{X_{\text{К2}}} = \frac{106,6}{50,4} = 2,12 \quad (78)$$

$$\frac{R_{\text{К3}}}{X_{\text{К3}}} = \frac{173,8}{56,3} = 3,09 \quad (79)$$

– Производится определение токов, возникающих при КЗ:

Определяем коэффициенты [8, с. 59]

$$K_{y1} = F \cdot \left(\frac{R_{\text{К1}}}{X_{\text{К1}}} \right) = F(1,06) = 1,0 \quad (80)$$

$$K_{y2} = F \cdot \left(\frac{R_{\text{К2}}}{X_{\text{К2}}} \right) = F(2,12) = 1 \quad (81)$$

$$K_{y3} = F \cdot \left(\frac{R_{\text{К3}}}{X_{\text{К3}}} \right) = F(3,09) = 1 \quad (82)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1 \quad (83)$$

$$q_2 = q_3 = q_1 = 1 \quad (84)$$

Токи КЗ на 2-х и 3-х фазах вычисляются далее. Потом он тоже будут записаны в ячейки таблицы 11

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 64,3} = 3,4 \text{ кА} \quad (85)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 117,91} = 1,9 \text{ кА} \quad (86)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 182,69} = 1,2 \text{ кА} \quad (87)$$

$$I_{yк1} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)} = 3,4 \text{ кА} \quad (88)$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)} = 1,9 \text{ кА} \quad (89)$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)} = 1,2 \text{ кА} \quad (90)$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 3,4 = 4,8 \text{ кА} \quad (91)$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 1,9 = 2,6 \text{ кА} \quad (92)$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 1,2 = 1,7 \text{ кА} \quad (93)$$

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,4 = 3,0 \text{ кА} \quad (94)$$

$$I_{k2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,9 = 1,6 \text{ кА} \quad (95)$$

$$I_{k3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,2 = 1,0 \text{ кА} \quad (96)$$

Таблица 11– Сводка токов, рассчитанных при определении параметров КЗ

Т. КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к /X _к	K _y	q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _y , кА	I _∞ ⁽³⁾ , кА	I _к ⁽²⁾ , кА
К1	47,8	17,31	50,84	2,76	1	1	4,3	6,1	4,3	3,7
К2	75,49	19,46	77,96	3,88	1	1	2,8	4,0	2,8	2,4
К3	83,83	22,10	86,69	3,79	1	1	2,5	3,6	2,5	2,2

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела: «Расчет токов короткого замыкания» выявлено, что ударный ток трехфазного короткого замыкания для точки К1 составляет 6100 А, для точки К2 – 4000 А, а для точки К3 – 3600 А.

Для данных точек выбраны автоматические выключатели со следующими отключающими способностями:

- К1: ВА-88-33 – 17500 А
- К2 ВА-47-29 – 4500 А (или ВА-47-150 – 15000 А – для ЩС-3)
- К3 ВА-47-29 – 4500 А

Таким образом, выбранные автоматические выключатели не разрушатся и смогут отключить короткое замыкание.

В целом, полученные в ходе расчета значения определяет сконфигурированную сеть как пригодную к дальнейшему функционированию.

Выбранное в ходе расчета оборудование и проводники отвечают современным требованиям электробезопасности и могут без опаски устанавливаться в цепи электроснабжения.

Заключение

По итогам выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра на тему: «Электроснабжение ТСЦ «Гольятти» выполнен расчет системы электроснабжения основного корпуса торгово-сервисного центра, осуществляющего торговлю оборудованием для предпринимателей, занимающихся хранением и реализацией продуктов питания и иных видов продукции, требующих поддержания определенной температуры хранения.

Сформирован план выполнения выпускной квалификационной работы, в результате чего определен порядок и объем предстоящей работы. Определены основные технические решения, применяемые в рамках ВКР. Их основной объем оформлен в качестве карточки технических решений. При выборе оборудования упор делался на устройства, аппараты и материалы отечественного производства.

Определен прогноз электрической нагрузки здания. Использован метод расчетного коэффициента, в результате чего выявлено, что расчетная нагрузка здания без учета питания системы освещения и потерь в трансформаторе составила 90,39 кВА. Нагрузка от силовой розеточной сети, приборов бытового обеспечения и офисной техники определена укрупненным методом в соответствии с прежним опытом эксплуатации схожих электроустановок.

Выполнена разработка системы освещения объекта. Система рабочего освещения выполнена светодиодными светильниками производства компании ИЕК. Аварийное освещение питается от отдельной группы ППУ кабелем с негорючей изоляцией. Включение в контур источника бесперебойного питания позволило обеспечить работу системы освещения объекта в случае отключения основного питания в течение 1,3 часа. Общая мощность системы освещения объекта составила 14,1 кВА. Общее количество использованных светильников – 245. Из них 26 используется для аварийного освещения объекта, а остальные – для рабочего.

Определен состав оборудования, обеспечивающего основное питание здания. В качестве такового решено использовать КТП производства компании «Электроцит Самара». КТП комплектуется трансформатором марки ТМГ-СЭЦ-160/10/0,4 кВ. Расчетные потери в трансформаторе составили 2,87 кВт и 6,31 кВар для активной и реактивной нагрузок – соответственно. Коэффициент загрузки трансформатора при расчетной нагрузке составляет 0,68. Это обеспечит наличие резерва мощности на случай подключения дополнительных потребителей.

Определен состав проводников и защитно-коммутационного оборудования здания. Применена система заземления TN-C-S с разделением рабочего и защитного заземления на шинах ВРУ. Для присоединения ШНН КТП к ВРУ использован кабель АПвБШв 4х70. Кабель проложен в траншее, в ПНД трубе. Для подключения приемников в пределах здания использованы кабели марки ВВГнг(А)-LS. Они прокладываются в кабельных лотках – в пределах большого торгового зала и склада и в штробе, либо кабельном канале – в пределах офисных помещений. Сечения кабелей варьируются от 1,5 до 25 мм². Определены модели автоматических выключателей, используемых для защиты и коммутации. Используются автоматы производства компании IEK моделей ВА 47-29, ВА 47-150 и ВА 88-33 с номинальными токами от 20 А – для защиты групповых линий системы освещения до 160 А – для вводного выключателя ВРУ.

В заключительном пункте выпускной квалификационной работы выполнен расчет сверхтоков короткого замыкания. Ударные токи в расчетных точках №1,2 и 3 составили 6,1; 4,0; 3,6 кА – соответственно. Это ниже значения номинальной отключающей способности соответствующих автоматических выключателей, что свидетельствует о жизнеспособности системы.

Таким образом, цель выпускной квалификационной работы достигнута, разработка системы электроснабжения торгово-сервисного центра произведена.

Список используемых источников

- 1 ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М. : Стандартинформ, 2001. 330 с.
- 2 Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения: учебник : учеб. пособие. М. : Форум, 2017. 450 с.
- 3 Светотехника// Официальный сайт IEK GROUP URL: <https://www.iek.ru/products/catalog/svetotekhnika> (дата обращения: 14.05.2020).
- 4 Промышленное освещение// Официальный сайт ООО «Ледел» URL: <https://ledel-lights.ru/katalog/promyshlennoe-osveshhenie.html> (дата обращения: 14.05.2020).
- 5 Электрощит Самара// Официальный сайт ООО «Электрощит Самара» URL: <https://www.electroshield.ru/> (дата обращения 14.05.2020)
- 6 Автоматические выключатели// Официальный сайт IEK GROUP URL: https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/avtomaticheskie_vyklyuchateli/ (дата обращения: 14.05.2020).
- 7 ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кв. М. : Издательство стандартов, 2014. 86 с
- 8 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2016. 214 с.
- 9 СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. М. : Стандартинформ, 2016. 87 с.
- 10 ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. М. : Издательство стандартов, 2012. 19 с
- 11 ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М. : Стандартинформ, 1985. 20 с.
- 12 ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. М. : Издательство стандартов, 1993. 109 с

13 Малафеев С.И. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2018. 368 с.

14 Полюянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2018. 396 с.

15 Yang D., Zhao K., Tian H., Liu Y. Decision Optimization for Power Grid Operating Conditions with High- and Low-Voltage Parallel Loops // Applied sciences. 2017. Vol. 7. PP 487-505.

16 Beinarts I., Grunde U., Jacovics A. Distributed multi-sensor real-time building environmental parameters monitoring system with remote data access // De gruyter open. 2015. Vol. 7. PP 41-46.

17 Bonoli A., Fusco E.D., Zanni S., Lauriola I., Ciriello V., Federico V.D. Green Smart Technology for Water (GST4Water): Life Cycle Analysis of Urban Water Consumption // Water, 2019, Vol. 11. Issue 2. PP. 389-401.

18 Schneider S., Hollmuller P., Strat P.L., Khoury J., Patel M., Lachal B. Spatial–Temporal Analysis of the Heat and Electricity Demand of the Swiss Building Stock // Frontiers spotlight, 2017, Vol. 3, Article 53, PP 1-17.

19 Ndawula M.B., Djokic S.Z., Hernando-Gil I. Reliability Enhancement in Power Networks under Uncertainty from Distributed Energy Resources // Energies, 2019. Vol. 12. Issue 3 Num. 531.

20 Pramangioulis D., Atsonios K., Nikolopoulos N., Rakopoulos D., Grammelis P., Kakaras E. A Methodology for Determination and Definition of Key Performance Indicators for Smart Grids Development in Island Energy Systems // Energies, 2019. Vol. 12. Issue 2 Num. 242.