

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 Реконструкция РП 6 кВ торгового центра

Обучающийся

П. О. Зобнин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. О. В. Самолина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Работа посвящена разработке проекта реконструкции системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра.

Для достижения поставленной цели, на основе сравнительного анализа оборудования и схемы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей, с непосредственным учётом результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, в системе электроснабжения РП 6 кВ торгового центра проведены выбор и проверка силовых трансформаторов подстанции, питающей торговый центр, проводников и электрических аппаратов схемы, расчёт и выбор уставок релейной защиты и автоматики, а также проектирование контура заземления объекта.

Основой работы является обоснование и практическое внедрение необходимых мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора на понизительной подстанции объекта и, как результат, изменения схемы главных соединений всей системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра в целом.

Предложенные в работе практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению торгового центра.....	7
2 Расчёт системы электроснабжения организации.....	16
2.1 Выбор схемы электроснабжения организации	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок	21
2.3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов на подстанции	28
2.4 Расчёт токов короткого замыкания.....	33
2.5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников	39
3 Расчёт устройств релейной защиты и контура заземления	50
3.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	50
3.2 Расчёт контура заземления торгового центра.....	53
Заключение	57
Список используемых источников.....	60

Введение

Известно, что распределительные устройства высокого напряжения являются важным элементом систем электроснабжения промышленных и гражданских объектов.

Принимая из источников питания электроэнергию и распределяя её между потребителей, распределительные пункты обеспечивают передачу электрических мощностей для питания объектов различного рода.

Применение электрической энергии является важнейшей частью современной цивилизации, позволяя, таким образом, значительно улучшить жизненные блага людей.

Сегодня экономическая эффективность использования электроэнергии в современном мире значительно возросла. Сегодня невозможно представить жизнь современного общества без электроэнергии, которая очень прочно вошла в бытовую и производственную сферы жизнедеятельности цивилизации.

При этом, рассматривая весь цикл передачи и потребления электроэнергии, можно отметить то, что одним из основных элементов при передаче электроэнергии к потребителям в системах электроснабжения всех типов, являются распределительные пункты. Поэтому к ним предъявляются особо повышенные требования по надёжности обеспечению потребителей качественной и нормативной электрической энергией.

Предлагаемая работа посвящена разработке проекта реконструкции системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра.

Основной целью работы является реконструкция системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, осуществляемая в работе путём качественного изменения однолинейной схемы главных электрических соединений объекта с конечным приведением её к требуемому нормативному виду, обеспечивая, таким образом, требуемые нормы для питания потребителей I и II категории надёжности согласно положениям [1,3,7,11].

Таким образом, в работе для достижения поставленных основных целей и задач, разрабатываются и внедряются необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений распределительного пункта торгового центра, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора на питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта и, как следствие, изменения в схемах главных соединений на самой подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта и РП 6 кВ системы электроснабжения торгового центра в целом.

Объектом исследования (объектом реконструкции) в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра.

Предметом исследования (предметом реконструкции) в работе выступает схема главных электрических соединений системы электроснабжения торгового центра, а также электрические сети и аппараты напряжением 6 кВ РП-6 кВ объекта реконструкции.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции систем электроснабжения объектов промышленных предприятий и гражданских сооружений всех типов, которая обусловлена несоответствием схемы главных электрических соединений подстанций, применяемых для питания потребителей I и II категории надёжности, согласно основным положениям [1,7,12].

Для достижения поставленной цели, на основе сравнительного анализа состояния оборудования напряжением 6 кВ РП-6 кВ объекта реконструкции и схемы электроснабжения объекта, проводится анализ и устанавливаются проблемы с последующими основными способами и путями их решения в целом.

Основой работы является обоснование и практическое внедрение необходимых мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора

на понизительной подстанции объекта и, как результат, изменения схемы главных соединений всей системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра в целом.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей, с непосредственным учётом результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, в системе электроснабжения РП 6 кВ торгового центра проведены выбор и проверка силовых трансформаторов понижающей подстанции ТП-6/0,4 кВ, питающей торговый центр, проводников и электрических аппаратов схемы, расчёт и выбор уставок релейной защиты и автоматики, а также проектирование контура заземления объекта.

Для достижения поставленной цели, в настоящей работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

Предложенная работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно выданному заданию на проектирование, с учётом требованиям методических указаний и использованием принятых расчётных методик, а также нормативных положений основных документов.

Предложенные в работе практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Все принятые решения подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа материала и нормативных источников литературы.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению торгового центра

Первоначально в работе, для достижения поставленной цели, согласно исходному согласованному заданию на выполнение работы, необходимо привести исходную характеристику системы электроснабжения торгового центра, в состав которого входит объект реконструкции – система электроснабжения РП 6 кВ торгового центра.

«В состав современного торгового центра 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» [3].

«Также торговый центр современного типа, должен быть оснащён полным комплексом современных систем жизнеобеспечения, размещённым в подвальном помещении» [3].

В торговом центре для перечисленных выше целей есть подземный паркинг и СТО, а также оборудование сетей и коммуникаций технического обеспечения ТЦ. Они расположены в подвальном помещении ТЦ (цокольный этаж).

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

В систему торгового центра, рассматриваемого работе, конструктивно входят следующие объекты (потребители):

- продуктовый супермаркет – осуществляет оптовую и розничную торговлю продуктами питания и сопутствующими товарами;
- супермаркет строительных и отделочных материалов – осуществляет оптовую и розничную торговлю строительными и отделочными материалами различного типа, а также сопутствующими товарами;

- торговые магазины и площадки – совокупность торговых площадей различного назначения, которые используются для оптовой и розничной продажи товаров и сдаются в аренду физическим и юридическим лицам;
- ресторанный комплекс – обслуживает людей в плане питания и организации различного рода мероприятий;
- супермаркет обуви и одежды – осуществляет оптовую и розничную торговлю обувью, одеждой и сопутствующими товарами;
- пекарня и пиццерия – служат для изготовления и последующей реализации свежей выпечки.

Техническая характеристика основных потребителей рассматриваемого в работе торгового центра представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика основных потребителей рассматриваемого в работе торгового центра

Наименование потребителя ТЦ	Площадь, занимаемая потребителем в ТЦ, м ²	Активная максимальная нагрузка, $P_{уст.}$, кВт	Расположение объекта на территории ТЦ
Подземный паркинг и СТО	864,0	171,0	подземный этаж
Оборудование сетей и коммуникаций технического обеспечения ТЦ	144,0	277,0	подземный этаж
Продуктовый супермаркет	180,0	156,0	I этаж
Супермаркет обуви и одежды	168,0	123,0	I этаж
Супермаркет строительных и отделочных материалов	180,0	375,0	I этаж
Пекарня и пиццерия	504,0	274,0	I этаж
Ресторанный комплекс	216,0	115,0	I этаж
Торговые магазины и площадки	252,0	46,0	I этаж
Всего по ТЦ	2508,0	1537,0	-

По категории надёжности все потребители рассматриваемого в работе торгового центра относятся ко II категории согласно категоричности, указанной в требованиях [11].

Электроснабжения торгового центра в работе осуществляется от распределительного пункта номинальным напряжением 6 кВ (далее – РП 6 кВ), который является объектом исследования в работе.

Конструктивно рассматриваемый в работе РП 6 кВ выполнен закрытым с расположением всего оборудования на изоляционных конструкциях открыто и в шкафах типа КСО-366.

Известно, что такой вид конструктивного выполнения РП является устаревшим [6].

В схеме РП 6 кВ применяется одна несекционированная секция сборных шин без резервирования, следовательно, второй источник питания на РП 6 кВ не предусмотрен.

От шин 6 кВ РП 6 кВ получает питание понизительная трансформаторная подстанция ТП-6/0,4 кВ торгового центра (также рассматривается детально в работе далее).

Причём питание данной ТП-6/0,4 кВ торгового центра, осуществляется только по линии «РП-6 кВ – Т1», второй силовой трансформатор ТП-6 кВ в системе электроснабжения ТП-6/0,4 кВ отсутствует.

Помимо указанного питания ТП-6/0,4 кВ, больше потребителей, которые питаются от РП 6 кВ, в его схеме электрических соединений, не предусмотрено.

В ячейках РП 6 кВ на всех присоединениях установлены коммутационные и защитные аппараты, обеспечивающие необходимую защиту и коммутацию схемы.

По функциям и назначению, присоединения РП 6 кВ разделяются на следующие типы:

- вводное присоединение – обеспечивает питание РП 6 кВ от источника питания напряжением 6 кВ энергосистемы;
- линейное присоединение (отходящая линия к потребителю) – обеспечивает питание нагрузки понизительной ТП-6/0,4 кВ торгового центра;

– присоединения вторичных цепей коммутации – обеспечивает питание трансформатора напряжения схемы, необходимого для питания цепей релейной защиты, автоматики, сигнализации и измерений;

– резервное присоединение – необходимо для присоединения потребителей в случае их ввода в эксплуатацию либо изменения схемы соединений РП 6 кВ.

На всех присоединениях РП 6 кВ установлены коммутационные и защитные аппараты (выключатели, разъединители, трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, а также прочие электрические аппараты напряжением 6 кВ).

Они все были введены в эксплуатацию в разное время и выполняют различные функции в схеме РП 6 кВ.

Для удобства все присоединения РП 6 кВ с установленными в них аппаратами, представлены в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика основных присоединений РП 6 кВ торгового центра

Порядковый номер ячейки РП (диспетчерское наименование)	Назначение ячейки	Оборудование (электрические аппараты)	Техническое состояние/год ввода в эксплуатацию
1	Трансформатор напряжения	Трансформатор напряжения НАМИ-10, разъединитель РВЗ-10/630, предохранитель ПК-6	Полностью неудовлетворительное/1978
2	Линейная ячейка	Разъединитель РВЗ-10/630, выключатель ВМГ-133, трансформаторы тока ТПОЛ-10	Полностью неудовлетворительное/1974
3	Вводная ячейка	Разъединитель РВЗ-10/630, выключатель ВМГ-133, трансформаторы тока ТПОЛ-10	Полностью неудовлетворительное/1974
4	Трансформатор собственных нужд	Разъединитель РВЗ-10/630, предохранитель ПК-6	Полностью неудовлетворительное/1976
5	Резервная ячейка	Разъединитель РВЗ-10/630, выключатель ВМГ-133, трансформаторы тока ТПОЛ-10	Полностью неудовлетворительное/1974

В результате проведенного анализа технических характеристик основных присоединений РП 6 кВ торгового центра установлено, что всё оборудование, установленное в 1974-1976 гг. в РП 6 кВ, находится в полностью неудовлетворительном состоянии.

Данный аспект необходимо учесть при реконструкции схемы электрических соединений РП 6 кВ в работе далее.

Далее в работе, согласно заданию, необходимо привести исходную характеристику распределительных устройств и входящих в них коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе питающей ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра до проведения реконструкции.

Данная ТП-6/0,4 кВ получает непосредственное питание от РП 6 кВ, поэтому далее проводится необходимый анализ исходных данных электрической части питающей понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра ТП-6/0,4 кВ.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного напряжения ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра является одной потребительской подстанцией указанного торгового центра и территориально расположена в непосредственной близости к объекту, обеспечивая качественной электроэнергией своих потребителей на вторичном пониженном номинальном напряжении 0,4 кВ.

Понизительная подстанция ТП-6/0,4 кВ переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра, по месту расположения в схеме электроснабжения объекта и энергосистемы, является тупиковой распределительной понижающей подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения торгового центра, являясь единственным источником напряжения 0,38/0,22 кВ.

Подстанция системы электроснабжения торгового центра ТП-6/0,4 кВ является однострансформаторной подстанцией тупикового типа без резервирования на сторонах 6 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН). Конструктивно

подстанция системы электроснабжения торгового центра ТП-6/0,4 кВ выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки.

Питание ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра осуществляется одной кабельной линией электропередачи 6 кВ от РП 6 кВ (присоединение 2 РП 6 кВ, таблица 2).

Таким образом, от РП 6 кВ запитана только одна секция сборных шин 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ.

Такая схема экономичная, однако пригодна только для обеспечения электроснабжения потребителей III категории надёжности исходя из требований [10].

Однако, как было указано ранее, все потребители объекта относятся ко III категории надёжности, следовательно, требуют двух независимых источников питания [11].

Вторым источником питания для данного объекта (вторая секция сборных шин 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ) является кабельная линия 0,38/0,22 кВ, которая является полностью резервной и отходит от отпайки энергосистемы.

Длина данной резервной линии – 5,8 км, состояние на 2022 год – полностью неудовлетворительное (неоднократные повреждения и аварии вследствие полного износа оборудования).

Поэтому данная резервная линия подлежит демонтажу и замене либо на новую, либо для реконструкции объекта и выполнения всех требований, необходимо установить второй источник питания на ТП-6/0,4 кВ (второй силовой трансформатор).

Таким образом, решаться проблемы с питанием ТП-6/0,4 кВ торгового центра.

Все основные элементы структурной схемы понизительной подстанции переменного напряжения ТП-6/0,4 кВ, получающего питание от РП 6 кВ системы электроснабжения торгового центра, перечислены в работе далее.

Первым элементом является «распределительное устройство высшего напряжения 6 кВ (далее – РУ-6 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки по радиальной однолучевой схеме электроснабжения» [11] без наличия резервирования.

В схеме РУ-6 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра для питания сборных шин 6 кВ, применяется схема без наличия резервирования на стороне 6 кВ подстанции, что также соответствует условиям для питания III категории потребителей согласно нормам и требованиям [10].

На отходящих линиях в РУ-6 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 2):

- выключатель нагрузки марки ВН-16 – 1 единица (год изготовления – 1974, введён в эксплуатацию на подстанции в 1976 году);
- предохранители ПКТ-101-6 (однофазные) – 3 единицы (год изготовления – 1976, введены в эксплуатацию на подстанции в 1976 году).

Питание РУ-6 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения от РП-6 кВ ГПП РП 6 кВ торгового центра, осуществляется одной кабельной линией, на которой применяется силовой кабель марки АСБ-6 (3х25).

Следующим элементом в рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного напряжения ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, является один «силовой трансформатор 6/0,4 кВ, обеспечивающий понижение напряжения с 6 кВ до 0,4 кВ с последующим его распределением в РУ-0,4 кВ» [16] и, далее, конечным потребителям.

На подстанции переменного напряжения ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, установлен один силовой

трансформатор марки ТМ-630/10 (был изготовлен в 1974, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 1976).

Данный трансформатор в системе электроснабжения торгового центра неоднократно и своевременно проходил капитальные ремонты и подвергался модернизации обмоток 6 кВ и 0,4 кВ.

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки с применением ячеек стационарного типа (год производства – 1974, введены в эксплуатацию на подстанции в 1975 году).

РУ-0,4 кВ является распределительным устройством низшего напряжения рассматриваемой ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра [7].

В схеме РУ-0,4 кВ системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра предусмотрены две рабочие системы сборных шин без автоматического резервирования, так как переключение на резервное питание осуществляется в ручном режиме путём включения секционного выключателя и вводного выключателя второй резервной линии 0,38/0,22 кВ.

На отходящих линиях в РУ-0,4 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ торгового центра, установлены следующие автоматические выключатели АЗ160 – 40 единиц (год изготовления – 1974, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 1976), установлены на вводе в РУ-0,4 кВ (2 единицы), на секционирующем соединении (1 единица), на отходящих линиях (26 единиц, включая резерв и освещение торгового центра).

От сборных шин РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, получают питание щитки потребителей по радиальной схеме электроснабжения двумя силовыми кабелями марки АВВГнг разных сечений, расположенными в одной питающей кабельной линии.

Для защиты сетей потребителей, используются плавкие предохранители марки ПН различных типоминалов (год изготовления и ввода в эксплуатацию на подстанции – 1978), установлены в ЩР потребителей.

Все потребители торгового центра работают на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ. Высоковольтные потребители и транзитные потребители в системе электроснабжения торгового центра отсутствуют.

Исходные технические данные потребителей системы электроснабжения торгового центра приведены в работе ранее (таблица 1).

На основании приведённых сведений и технических данных, далее в работе проводится практическое решение основных задач.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, проведён анализ исходных данных по электроснабжению торгового центра.

Для этого в работе детально рассмотрены и проанализированы следующие вопросы:

- приведена детальная техническая характеристика основных потребителей рассматриваемого в работе торгового центра;
- детально описана и рассмотрена схема электроснабжения торгового центра;
- приведена техническая характеристика основных присоединений РП 6 кВ торгового центра, а также рассмотрено основное оборудование и схема соединений РП 6 кВ торгового центра;
- приведена техническая характеристика схемы и оборудования ТП-6/0,4 кВ, получающего питание от рассматриваемого в работе РП 6 кВ торгового центра.

На основе приведённых данных, далее в работе проводится практическое решение поставленных основных заданий.

2 Расчёт системы электроснабжения организации

2.1 Выбор схемы электроснабжения организации

Далее в работе необходимо провести аргументированный выбор мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения торгового центра таким образом, чтобы в ней повысились показатели качества, надёжности, экономичности и безопасности.

Для осуществления данной задачи, проводится краткий анализ основных норм и требований, которые предъявляются к проектированию, модернизации и реконструкции систем электроснабжения торговых объектов и их питающих распределительных пунктов и понижающих трансформаторных подстанций [1]:

- надёжность отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичность передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасность обслуживающего персонала при выполнении работ в системе электроснабжения торговых объектов;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств в системе электроснабжения торговых объектов;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования в системе электроснабжения торговых объектов;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования подстанций, распределительных пунктов и устройств, а также схемных решений по системе электроснабжения торговых объектов;
- применение негабаритных конструкций в системе электроснабжения торговых объектов;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования подстанций, распределительных пунктов и щитов системы электроснабжения

торговых объектов;

– применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех технологических и технических процессов в системе электроснабжения торговых объектов;

– соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям системы электроснабжения торговых объектов на всех уровнях;

– возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии в системы электроснабжения торговых объектов;

– контроль потоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы системы электроснабжения торговых объектов;

– обеспечение ограничения ненормальных режимов на подстанциях и распределительных пунктах системы электроснабжения торговых объектов.

Далее кратко приводится основная характеристика наиболее важных требований, перечисленных выше.

Известно, что на понижающих подстанциях систем электроснабжения торговых объектов устанавливаются один либо два силовых трансформатора. Более двух трансформаторов встречаются на понизительных подстанциях промышленных предприятий крайне редко [15].

В этом случае они должны быть обоснованы технико-экономическим расчётом [12].

Известно, что в системах электроснабжения трансформаторных подстанций торговых объектов, должны быть обеспечены надёжные условия для коммутации и защиты как отдельных звеньев цепи, так и всей подстанции в целом.

Все электрические аппараты системы электроснабжения торговых объектов должны быть выбраны по расчётной нагрузке с учётом резервирования и проверены по максимальным токам короткого замыкания

на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах [15].

Экономичность систем электроснабжения торговых объектов заключается в уменьшении расходов путём внедрения перспективных схемных решений, долгосрочной модернизации, уменьшения затрат на монтаж, эксплуатацию и ремонт оборудования, минимизация амортизационных отчислений, а также снижение капитальных вложений в проект за счёт применения современных перспективных решений.

На основании основных приведенных положениях нормативных документов, далее в работе проводится реконструкция схемы электроснабжения объекта, результатом которой будет обоснование и внедрение новой схемы электроснабжения организации.

Изменения в исходную схему электроснабжения торгового центра планируется проводить по трём основным направлениям [2]:

- частичная модернизация оборудования и сетей системы электроснабжения торгового центра на всех уровнях;
- реконструкция схемы и модернизация оборудования РП 6 кВ объекта исследования;
- реконструкция схемы и модернизация оборудования питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта.

Исходя из результатов проведённого анализа состояния системы электроснабжения торгового центра, а также установленного оборудования и схемы электрических соединений на РП 6 кВ и в РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта, основываясь на положениях нормативных документов, в данной работе предложены следующие практические рекомендации по реконструкция электрической части системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра, включающие в себя такие основные этапы, а именно:

- модернизацию устаревших электрических аппаратов и кабельных линий в РП 6 кВ, а также в РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ питающей подстанции

ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками. Также здесь же предлагается заменить устаревшие ячейки РП 6 кВ марки КСО на современные ячейки марки КРУ КУ-6С, в которых применяются втычные контакты вместо разъединителей, обеспечивая таким образом видимый разрыв в схеме путём выкатывания тележки в ремонтное положение. При этом в первоначальной схеме РП 6 кВ разъединители необходимо демонтировать;

– реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 6 кВ питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта, предусматривающей установку второго трансформатора на данной подстанции, так как в связи с категорийностью основных потребителей подстанции, которые относятся ко II категории надёжности, в схеме необходим второй источник питания в виде силового трансформатора, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом. При этом резервный кабель ко второй секции сборных шин 0,4 кВ РУ-0,4 кВ демонтируется, а между секциями сборных шин в РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ, устанавливается система автоматического включения резерва (далее – АВР), обеспечивая таким образом автоматическое резервирование в системе электроснабжения объекта. Для защиты и коммутации данной линии в РУ-0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ необходим ввод нового фидера с соответствующими коммутационными и защитными аппаратами;

– реконструкцию схемы РП 6 кВ торгового центра. В связи с изменением схемы электрических соединений на стороне 6 кВ и установки второго трансформатора на питающей ТП-6/0,4 кВ, в работе должна быть предусмотрена вторая питающая линия 6 кВ от шин РП 6

кВ торгового центра. Для защиты и коммутации данной линии в РП 6 кВ для питания цеховой ТП-6/0,4 кВ, необходим ввод нового фидера с соответствующими коммутационными и защитными аппаратами, следовательно, должно быть предусмотрено дополнительное присоединение в схеме РП 6 кВ. Предполагается подключение данного присоединения к резервной ячейке в РП 6 кВ. При этом, с целью повышения надёжности, в схеме РП 6 кВ необходимо использовать две секционированные выключателем системы сборных шин 6 кВ, разделив одну секцию на две. Таким образом, в новой схеме РП 6 кВ питание ТП-6/0,4 кВ будет осуществляться от разных секций сборных шин 6 кВ с учётом резервирования и секционирования, что значительно повысит показатели надёжности всей системы электроснабжения объекта в целом. Также с целью обеспечения резервирования, между секциями сборных шин в РП-6 кВ применяется резервирование в виде секционного автоматического выключателя с установленной на нём системы АВР. В нормальном режиме данный аппарат будет отключен, включаясь только в послеаварийном режиме под действием АВР. Данные аспекты соответствуют требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов II категории надёжности.

Исходя из приведённых мероприятий по реконструкции системы электроснабжения объекта, проводится выбор принципиальной схемы питающей ТП-6/0,4 кВ (рисунок 1).

Данная принципиальная схема ТП-6/0,4 кВ после реконструкции, приведённая на рисунке 1, является основополагающим фактором, который обуславливает реконструкцию не только данной ТП-6/0,4 кВ, а и всего РП 6 кВ, от которого получает питание данная подстанция. При этом после реконструкции схемы первичных соединений РП 6 кВ, в нём предполагается увеличение электрических присоединений с пяти до десяти, учитывая парное резервирование секций сборных шин (графический лист 4).

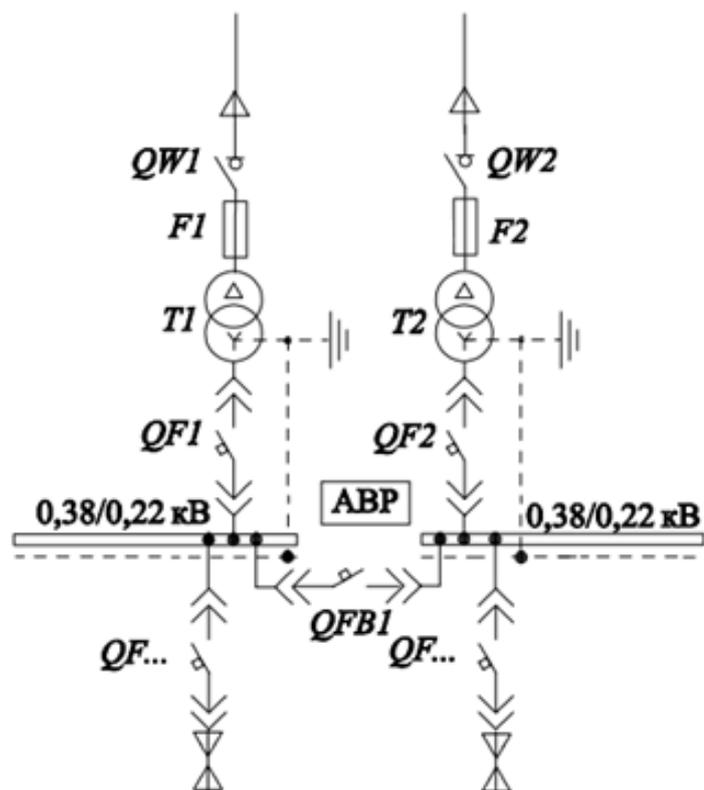


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТП-6/0,4 кВ после реконструкции

Приведённые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений торгового центра, обеспечат значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Основываясь на рекомендуемых мероприятиях по реконструкции исходной схемы главных электрических соединений объекта реконструкции, далее в работе проводится практическое решение поставленных задач.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе проводится расчёт ожидаемых электрических нагрузок в системе электроснабжения системы электроснабжения торгового центра.

Предварительно для расчёта электрических нагрузок, необходимо внести изменения в структурную схему системы электроснабжения торгового центра вследствие её реконструкции.

Таким образом, исходя из данной схемы, далее будет проведён требуемый расчёт ожидаемых электрических нагрузок торгового центра. Важнейшим мероприятием по реконструкции подстанции является внедрение второго ввода на объекте по условиям надёжности и экономичности.

Как известно, применение второго ввода на понизительной подстанции радикально вносит изменения в схемы электрических соединений объекта исследования [13].

Данный аспект в обязательном порядке должен быть отражён в структурной схеме объекта с учётом резервирования (рисунок 2).

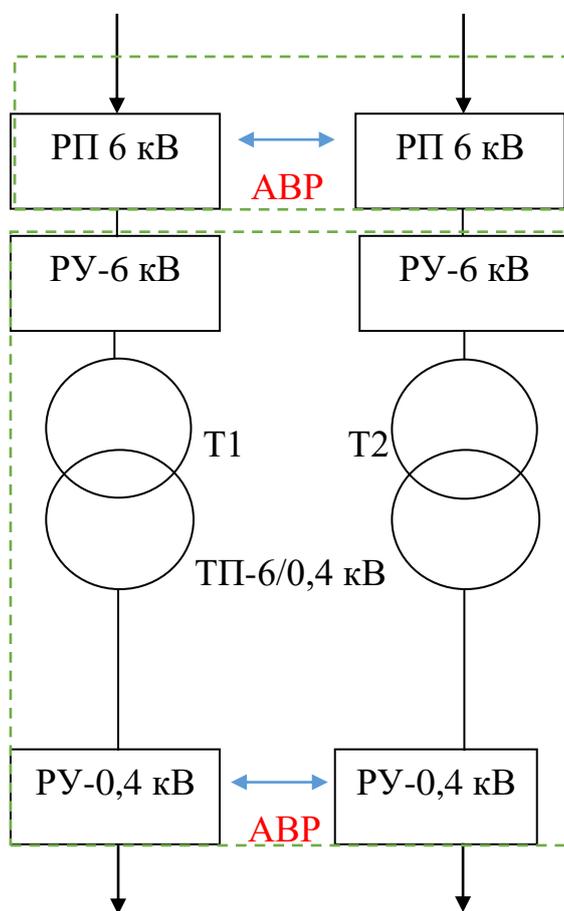


Рисунок 2 – Структурная схема системы электроснабжения торгового центра после внедрения мероприятий по её реконструкции с учётом резервирования на РП 6 кВ и в РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ

Для следующего этапа, включающего расчёт ожидаемых электрических нагрузок в системе электроснабжения торгового центра, в работе далее используются данные, представленные в таблице 2 ранее в работе с учётом реконструированной структурной схемы объекта проектирования, и с резервированием в схеме соединений.

Поэтому далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок подстанции ТП-6/0,4 кВ, целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей, а также суммарной расчётной нагрузки РП 6 кВ торгового центра.

«Значение расчётной активной электрической нагрузки на вводе объектов торгового центра, P_p , кВт» [5]:

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

где « $P_{уст.}$ – установленная активная нагрузка объекта, кВт» [5];

« K_o – коэффициент одновременности нагрузки» [4,5].

«Расчетная реактивная нагрузка на вводе объектов торгового центра, квар» [5]:

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

где « $tg\varphi_o$ – коэффициент реактивной мощности» [4].

«Полная расчетная нагрузка на вводе объектов реконструируемого торгового центра S_p , кВА» [5]:

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

Проводится пример расчёта ожидаемых электрических нагрузок на примере объекта реконструируемого торгового центра «Подземный паркинг и СТО» по условиям (1-3):

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

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

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

Расчёт ожидаемой нагрузки остальных объектов реконструируемого торгового центра в работе проведены аналогично (таблица 3).

Таблица 3 – Расчёт ожидаемой нагрузки объектов системы электроснабжения реконструируемого торгового центра

Наименование потребителя	$P_{уст}$, кВт	Площадь, занимаемая потребителем в ТЦ, м ²	$P_{p..}$, кВт	$Q_{p..}$, квар	$S_{p..}$, кВА
Подземный паркинг и СТО	171,0	864,0	171,0	45,6	176,7
Оборудование сетей и коммуникаций технического обеспечения ТЦ	277,0	144,0	277,0	89,4	290,7
Продуктовый супермаркет	156,0	180,0	156,0	49,4	163,5
Супермаркет обуви и одежды	123,0	168,0	123,0	32,3	127,4
Супермаркет строительных и отделочных материалов	375,0	180,0	375,0	232,5	441,2
Пекарня и пиццерия	274,0	504,0	274,0	88,9	287,9
Ресторанный комплекс	115,0	216,0	115,0	71,3	135,3
Торговые магазины и площадки	46,0	252,0	46,0	9,2	46,9
Всего по ТЦ	1537	2508,0	1537,0	618,6	1669,6

При расчёте ожидаемой нагрузки объектов реконструируемого торгового центра, помимо силовой нагрузки, необходимо также учесть и осветительную нагрузку помещений и объектов [8].

«Значение активной расчетной нагрузки наружного освещения объектов, кВт» [8]:

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

где « $P_{уд.y.o.i}$ – нормируемое значение удельной активной нагрузки, кВт/км» [8];

« l_i – суммарная длина объекта, подлежащего освещению, км» [8].

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

«Значение активной расчетной электрической нагрузки внутреннего освещения» [6]:

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

где « $P_{уд.вн.}$ – нормируемое значение удельной активной нагрузки внутреннего освещения реконструируемого торгового центра, кВт/га» [8];

« F – суммарная площадь реконструируемого торгового центра, га» [8].

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

«Значение суммарной расчетной активной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения реконструируемого торгового центра, кВт» [10]

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

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

«Значение суммарной расчетной реактивной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения реконструируемого торгового центра, квар» [10]

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

где « $tg\varphi_{y.o.}$ и $tg\varphi_{вн.кв.}$ – коэффициенты мощности наружного и внутреннего освещения объектов реконструируемого торгового центра» [8].

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

«Значение суммарной полной реактивной электрической нагрузки внешнего и внутреннего освещения реконструируемого торгового центра, кВА» [10]

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

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

«Суммарная активная электрическая нагрузка, кВт» [8]:

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

где « $P_{p.max}$ – максимальная электрическая нагрузка группы однородных потребителей, кВт» [8];

« $K_{y.i}$ – нормируемый коэффициент несовпадения максимумов нагрузки» [9].

«Суммарная реактивная электрическая нагрузка, квар» [8]:

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

«Суммарная расчетная активная нагрузка реконструируемого торгового центра с учётом нагрузки наружного освещения, кВт» [14]:

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

где « $P_{р.мах}$ – максимальное значение из группы расчетных нагрузок, кВт» [8];

« $P_{р.і}$ – значение расчетной нагрузки объекта, кВт» [8];

« $k_{у.і}$ – коэффициент участия объекта в максимуме нагрузок» [10].

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

«Реактивная составляющая нагрузки реконструируемого торгового центра с учётом нагрузки наружного освещения, квар» [8]:

$$Q_{р.тк} = P_{р.мах} \cdot tg\varphi + \sum k_{у.і} \cdot P_{р.і} \cdot tg\varphi_{і} + k_{у.осв.} \cdot P_{осв.} \cdot tg\varphi_{осв.} \quad (12)$$

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

«Полная расчетная нагрузка реконструируемого торгового центра с учётом нагрузки наружного освещения, кВА» [8]:

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

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

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок системы электроснабжения торгового центра, используются в работе далее для выбора и проверки трансформаторов на питающей цеховой ТП-6/0,4 кВ, оборудования на РП 6 кВ, а также проводников и аппаратов во всей системе электроснабжения объекта.

При этом в работе используются как значения расчётных нагрузок секций сборных шин подстанции, так и значения расчётных нагрузок присоединений потребителей, а также результаты расчётов нагрузок всей реконструируемой системы электроснабжения торгового центра.

2.3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов на подстанции

Согласно методике [11], после предварительного расчёта нагрузок системы электроснабжения торгового центра, в рассматриваемой системе электроснабжения, если это необходимо, нужно установить компенсирующие устройства (далее – КУ) в узлах системы электроснабжения на ТП-6/0,4 кВ, питающегося от РП 6 кВ торгового центра.

Таким образом, будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и СРШ всей системы электроснабжения торгового центра.

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов КРМ.

На питающей ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, расчётная реактивная мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ определяется так [14]:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_{к}), \text{ квар.} \quad (14)$$

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 907,1(0,39 - 0,33) \approx 49 \text{ квар.}$$

Так как в системе электроснабжения РП 6 кВ торгового центра 6/0,4 кВ в результате внедрения практических мероприятий по реконструкции устанавливается два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для установки две комплектных конденсаторных установки типа УК БН-0,38-20-50УЗ.

При этом суммарная мощность выбранных КУ на всей системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра 6/0,4 кВ составляет $2 \cdot 20 = 40$ квар с учётом стандартного ряда реактивных мощностей конденсаторных установок, чтобы предотвратить перекомпенсацию реактивной мощности, которая технически будет очень вредна всей системе электроснабжения объекта [6].

Здесь:

$$tg\varphi_{к} = tg\varphi - \frac{Q_{к.см.}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар.} \quad (15)$$

$$tg\varphi_{к} = 0,33 - \frac{40}{0,9 \cdot 907,1} = 0,28.$$

Значение коэффициента реактивной мощности после установки КУ находится в нормально допустимом диапазоне значений [17].

«Пересчёт значений нагрузок ТП-6/0,4 кВ с учётом выбранных КУ» проводится так [8]:

$$P_p = 907,1 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 254,8 - 40 = 214,8 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{907,1^2 + 214,8^2} = 932,2 \text{ кВА.}$$

«Полученные уточнённые значения расчётных электрических нагрузок в результате установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ понизительной ТП-6/0,4 кВ в системе электроснабжения торгового центра, используются в работе далее» [8].

Далее проводится выбор марки силовых трансформаторов для установки на ТП-6/0,4 кВ объекта.

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра до проведения реконструкции был установлен один трансформатор 1Т – ТМ-630/10.

После внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции обоснована установка двух силовых трансформаторов, номинальную мощность которых необходимо выбрать далее.

Как известно, «требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора для его установки в результате проведения реконструкции на подстанции» [17] переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра, определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{см.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (16)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра [17];

$S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра;

P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра;

$P_{ст.}$ – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ торгового центра.

По условию выбора (16), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ торгового центра сторонних потребителей:

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

«В работе выбран для установки в системе электроснабжения РП 6 кВ торгового центра на подстанции 6/0,4 кВ, силовой трансформатор ТМЗ-630/6» [12].

Данный тип трансформатора имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме» [12]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (17)$$

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (18)$$

Требуемая проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения системы электроснабжения торгового центра в нормальном режиме по (17) выполняется:

$$K_3^n = \frac{932,2}{630 \cdot 2} = 0,74 \leq 0,8.$$

Проверка трансформаторов на питающей подстанции переменного напряжения 6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра в ПАВ режиме по (18) выполняется:

$$K_3^{n.av} = \frac{932,2}{630 \cdot (2-1)} = 1,48 \leq 1,6.$$

Условие проверки силовых трансформаторов в ПАВ режиме выполняется, следовательно, данный тип силовых трансформаторов ТМЗ-630/6 окончательно принимается для установки на питающей подстанции переменного напряжения 6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра.

Конструктивное выполнение питающей подстанции переменного напряжения 6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра представлено в работе на графическом листе 5.

В работе питающая ТП-6/0,4 кВ выполнена в виде закрытой современной подстанции с применением комплектных распределительных устройств.

Оборудование распределительных устройств 6 кВ и 0,4 кВ находится в шкафах и ячейках, что создаёт максимум удобств по обслуживанию и ремонту данного оборудования.

Силовые трансформаторы располагаются в ТП-6/0,4 кВ в отдельных технических помещениях (камерах).

2.4 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе осуществляется расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) в системе электроснабжения торгового центра.

Так как в системе электроснабжения РП 6 кВ торгового центра в результате проведения её реконструкции установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на подстанции остаётся один силовой трансформатор.

«Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения торгового центра представлена на рисунке 3» [12].

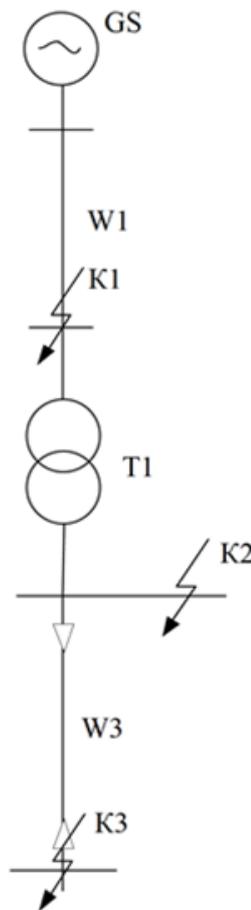


Рисунок 3 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения торгового центра (Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 6 кВ)

Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения торгового центра показана в работе на рисунке 4.

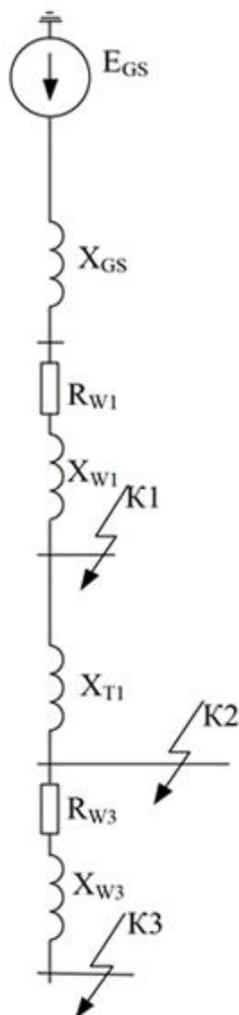


Рисунок 4 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения торгового центра

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 6 кВ.

Неосновной ступенью в данной работе выступает ступень низшего напряжения – 0,4 кВ.

Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов, установленных на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра [16].

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра:

$$S_{\sigma} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра определяется так [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ}. \quad (19)$$

По условию (19):

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{кВ}.$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{кВ}.$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы системы электроснабжения торгового центра [8]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (20)$$

По условию (20):

$$I_{\sigma 1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,058 \text{ кА}.$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,91 \text{ кА}.$$

Расчёт ведётся в относительных единицах при приведении к базисным условиям [7].

«Принимается факт, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы) для питания РП 6 кВ, $E_c = 1$, соответственно, индуктивное сопротивление $x_c = 0,005$ о.е.» [18].

«Значение индуктивного сопротивления КЛ» системы электроснабжения торгового центра с учётом количества кабелей в соответствующих кабельных линиях [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_B^2}. \quad (21)$$

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} \approx 0,007 \text{ о.е.}$$

$$X_{W3} = \frac{1}{1} \cdot 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} \approx 0,053 \text{ о.е.}$$

Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения [8].

«Значение активного сопротивления КЛ» системы электроснабжения торгового центра с учётом количества кабелей в соответствующих кабельных линиях [16]

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_B^2}. \quad (22)$$

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,008 \text{ о.е.}$$

$$R_{W3} = \frac{1}{1} \cdot 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,366 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{КЗ}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{HT}}. \quad (23)$$

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

Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра определяется по известному выражению [16]

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\bar{\sigma}}. \quad (24)$$

Далее в работе находится значение «полного сопротивления цепи КЗ до расчётных точек и ток КЗ» [16]

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (25)$$

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

$$I_{\kappa1}^{(3)} = \frac{1}{0,014} \cdot 0,058 = 2,14 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (26)$$

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

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

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (27)$$

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

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

«Ударный ток при максимальном значении трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы» [16] системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра [16]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (28)$$

Численное значение ударного тока при максимальных значениях трёхфазных токов КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения торгового центра

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

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

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

Минимальное значение токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения торгового центра определяется по известному выражению [16]

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (29)$$

Численное значение минимальных токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра:

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

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

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

«Все полученные в работе результаты расчёта токов КЗ в схеме системы электроснабжения» [16] 6 кВ и 0,4 кВ торгового центра, приведены в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Расчётный параметр	Числовое значение параметра/сеть		
	Точка К1 (6 кВ)	Точка К2 (0,4 кВ)	Точка К3 (0,4 кВ)
$I_{к}^{(3)}, \text{кА}$	2,14	13,38	1,31
$I_{к}^{(2)}, \text{кА}$	1,85	11,59	1,13
$I_{уд.к}, \text{кА}$	4,24	18,92	1,85

Полученные результаты расчётов токов трёхфазного короткого замыкания, а также величины ударных токов, используются в работе далее при выборе и проверке оборудования в реконструированной системе электроснабжения торгового центра.

2.5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников

«Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения торгового центра» [16].

В работе проводится выбор следующих силовых кабельных линий объектов:

- питающая сеть 6 кВ – высоковольтная трёхжильная кабельная линия напряжением 6 кВ от питающего РП 6 кВ торгового центра до РУ-6 кВ понижающей ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра;
- питающая сеть 0,38/0,22 кВ – низковольтные кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ, питающие от шин 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ

системы электроснабжения торгового центра до всех РЩ-0,4 кВ потребителей (радиальная схема с резервированием).

Далее в работе «проводится определение и выбор сечений кабельной линии напряжением 6 кВ (для питания системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра)» [11].

Расчётный «рабочий ток линии» [7,9]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (30)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.} \quad (31)$$

«Условие проверки» [11]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max} \quad (32)$$

«Где $I_{дон}$ – длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

« $I_{p.max}$ – максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Воздушные и кабельные линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по экономической плотности тока» [7]:

$$F_3 = \frac{I_{p.}}{j_3} \quad (33)$$

Исходя из методики выбора, далее в работе проводится выбор кабельных линий для питания ТП-6/0,4 кВ от шин РП 6 кВ на высшей стороне напряжением 6 кВ [11]:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ A.}$$

$$F_{э.} = \frac{60,6}{1,6} = 37,9 \text{ мм}^2.$$

«В работе принимается ближайшее минимальное стандартное сечение $F=35 \text{ мм}^2$ с допустимым током $I_{дон}=120 \text{ A}$ » [12].

Следовательно, в работе для питающей линии 6 кВ, предварительно принят кабель АСБ-6 (3×35).

Поэтому это сечение питающего кабеля от РП 6 кВ системы электроснабжения торгового центра предварительно принимается в работе.

«Максимальный расчётный ток» [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 60,6 = 84,8 \text{ A.}$$

«Проверка выбранного сечения кабеля 6 кВ в аварийном режиме» [11]:

$$120 \text{ A} \geq 84,8 \text{ A.}$$

«Аналогично проводится выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ по допустимому нагреву» [11] (таблица 5).

По экономической плотности тока кабели напряжением 0,38/0,22 кВ, согласно [8], не проверяются.

Таблица 5 – Результаты выбора сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ торгового центра

Наименование потребителя	Число кабелей в КЛ, шт.	Марка и сечение кабеля
Подземный паркинг и СТО	2	АВВГнг (3×95+1×25)
Оборудование сетей и коммуникаций технического обеспечения ТЦ	2	АВВГнг (3×240+1×70)
Продуктовый супермаркет	2	АВВГнг (3×95+1×25)
Супермаркет обуви и одежды	2	АВВГнг (3×50+1×25)
Супермаркет строительных и отделочных материалов	2	2АВВГнг (3×185+1×50)
Пекарня и пиццерия	2	АВВГнг (3×240+1×70)
Ресторанный комплекс	2	АВВГнг (3×70+1×25)
Торговые магазины и площадки	2	АВВГнг (3×70+1×25)

Полученные результаты выбора кабелей, представленные в таблице 5, 6 кВ и 0,38/0,22 кВ отвечают всем требованиям проверок.

По этой причине все кабельные линии как питающей, так и распределительной сети напряжением 6 кВ и 0,4 кВ, принимаются для их установки в реконструируемой системе электроснабжения торгового центра.

Все выбранные проводники как питающей (6 кВ), так и распределительной (0,4 кВ) сетей, выбранные для монтажа в реконструируемой системе электроснабжения торгового центра, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте в результате реконструкции.

Результаты выбора линий питающей (6 кВ) и распределительной (0,4 кВ) сетей объекта показаны в графической части работы на листе 4.

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе системы электроснабжения торгового центра является модернизация оборудования 6 кВ и 0,4 кВ.

Известно, что внедрение принятых решений по модернизации оборудования подстанции повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения.

Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования торгового центра позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

В работе при модернизации оборудования системы электроснабжения торгового центра необходимо учесть критерии, являющиеся определяющими при выборе современного типа оборудования подстанций.

Известно, что современные технические решения по модернизации оборудования подстанций включают применение нового инновационного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования;
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем;
- стабильное отключение больших токов;
- применение современных способов гашения электрической дуги;
- повышенная электробезопасность;
- экологическая безопасность;
- пожаробезопасность;
- взрывобезопасность;
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт;
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений;
- возможность дальнейшей модернизации.

С учётом данных критериев, выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в системе электроснабжения торгового центра проводится в работе далее.

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (34)$$

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

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

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (36)$$

«Проверка на отключение аperiodической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (37)$$

где « $\beta_{ном}$ – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [12];
« $i_{а.ном}$ – номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}, \quad (38)$$

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (39)$$

где « $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

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

где « I_T – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

По приведённым выше формулам, далее в работе проводится выбор и проверка нового оборудования для его установки в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ и в

РП 6 кВ, а также в РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ реконструируемой системе электроснабжения РП 6 кВ торгового центра.

Так как на подстанции в результате проведения реконструкции используются два одинаковых силовых трансформатора по номинальным мощностям и типам, необходимо проводить выбор нового модернизированного оборудования в цепи одного силового трансформатора (как на стороне 6 кВ, так и на стороне 0,4 кВ подстанции).

Следовательно, выбор оборудования для второго трансформатора системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра результаты будут аналогичными.

Помимо выбора новых типов выключателей нагрузки и предохранителей, в работе также необходимо проверить работоспособность остальных аппаратов в схеме по новым условиям реконструкции, которые не подлежат замене, включая выключатель высокого напряжения на питающем РП 6 кВ торгового центра.

К таким аппаратам 6 кВ на подстанции относятся трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

Этот фактор, учтённый в работе, значительно повышает точность расчётов и полученных результатов.

Данные о максимальном значении тока внешнего трёхфазного КЗ и ударном токе на шинах 6 кВ РП 6 кВ системы электроснабжения торгового центра принимаются по данным энергосистемы.

Для примера проводится выбор и проверка выключателя для защиты и коммутации ТП-6/0,4 кВ на стороне 6 кВ, установленном в ячейках на РП 6 кВ:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 6 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 84,8 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 2,14 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.кв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 4,24 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки на питающем РП 6 кВ, для защиты и коммутации системы электроснабжения РУ-6/0,4 кВ торгового центра, современный вакуумный выключатель номинального напряжения 6 кВ марки LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41 [13].

«Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 6 кВ» [5] для их установки в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, а также и на питающем РП 6 кВ объекта (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 6 кВ системы электроснабжения торгового центра

Наименование электрического аппарата	Количество в схеме, ед.	Марка электрического аппарата	Примечание
РП 6 кВ			
Выключатель высокого напряжения	5	LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41	вакуумный трёхфазный
Трансформатор тока	26	ТПОЛМ-10	схема двойной «неполной звезды» на отходящих линиях, схема двойной «полной звезды» - на вводах и секционном присоединении
Трансформатор напряжения	2	НТМИ-10	для всех потребителей РП 6 кВ (по одному на каждой секции сборных шин 6 кВ)
Ограничители перенапряжений	6	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1	в комплекте с вакуумными выключателями (встроенные)
РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ			
Выключатель нагрузки	2	ВНПу-10/ 400-10-УЗ	трёхфазный, на вводе в РУ-10 кВ
Предохранитель	6	ПК-6-100-31,5/УЗ	Однофазный, для защиты выключателей нагрузки и сети от токов КЗ

Далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра.

Как было указано ранее, для защиты и коммутации питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ, в системе электроснабжения торгового центра применяются автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Автоматы в сети 0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра «выбираются по условиям, приведённым ниже» [10].

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

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (40)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (41)$$

«Номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя» автоматического выключателя 0,4 кВ [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (42)$$

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

«Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (43)$$

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

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения торгового центра для питающей сети её потребителей осуществлён аналогично (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора автоматов защиты и коммутации питающей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения торгового центра

Наименование объекта	Марка автомата	$I_{ном.а}, А$	$I_{у.т.р.}, А$	$I_{у.э.р.}, А$
Вводной и секционный ЭА в РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ				
Вводной автомат	ВА55-43	1600	1600	4800
Секционный автомат	ВА55-43	1600	1600	4800
Линейные автоматы				
Подземный паркинг и СТО	ВА 52-35	250	400	2400
Оборудование сетей и коммуникаций технического обеспечения ТЦ	ВА 52-34	400	630	2400
Продуктовый супермаркет	ВА 52-35	250	250	2400
Супермаркет обуви и одежды	ВА 52-35	250	250	1800
Супермаркет строительных и отделочных материалов	ВА 52-39	630	800	1800
Пекарня и пиццерия	ВА 52-34	400	630	3600
Ресторанный комплекс	ВА 52-35	250	250	3000
Торговые магазины и площадки	ВА 52-35	100	120	3000

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РП 6 кВ, а также в РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Все они показаны в графической части.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела, на основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность внедрения мероприятий по проведению реконструкции системы электроснабжения торгового центра.

Установлено, что изменения в исходную схему электроснабжения торгового центра необходимо проводить по трём основным направлениям:

- частичная модернизация оборудования и сетей системы электроснабжения торгового центра на всех уровнях;
- реконструкция схемы и модернизация оборудования РП 6 кВ объекта исследования;

– реконструкция схемы и модернизация оборудования питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта.

Для решения поставленных задач в работе было осуществлено решение следующих основных задач:

– расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей системы электроснабжения в целом, с учётом реконструкции схемы электрических соединений;

– выбор силовых трансформаторов ТП-6/0,4 кВ с учётом реконструкции схемы электроснабжения. Установлено, что два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10 обеспечат качественное электроснабжение потребителей объекта;

– выбор и проверка проводников в системе электроснабжения торгового центра. Установлено, что для питающей линии 6 кВ (от РП 6 кВ до РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ) по экономическим и техническим условиям необходимо применять кабели марки АСБ-6 (3×35), а для питающей сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки АВВГнг различных сечений;

– определение токов короткого замыкания в расчётных точках схемы на сторонах 6 кВ и 0,4 кВ;

– выбор и проверка электрических аппаратов 6 кВ и 0,4 кВ.

3 Расчёт устройств релейной защиты и контура заземления

3.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Далее в работе проводится расчёт релейной защиты и автоматики для защиты системы электроснабжения торгового центра.

Известно, что релейная защита и автоматика (далее – РЗА) устанавливается на выключателях высокого напряжения объекта.

Таким образом, в работе необходимо выбрать уставки РЗА для защиты ТП-6/0,4 кВ, установив её на выключателе в РП 6 кВ торгового центра, который защищает и коммутирует данную подстанцию.

В виду того, что указанная ТП-6/0,4 кВ выполнена после реконструкции с двумя трансформаторами по радиальной схеме, следовательно, выключателей в схеме РП 6 кВ для её защиты и коммутации, будет также два.

Проводится выбор и проверка микропроцессорных блоков РЗА. На основании изучения нормативной технической литературы и каталогов продукции, в работе принимается микропроцессорные блоки РЗА марки SMPR 155 (производитель – Orion Italia S.R.L.).

Внешний вид и функционал данного блока представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид и основной функционал микропроцессорного блока РЗА марки SMPR 155 (производитель – Orion Italia S.R.L.)

В данном микропроцессорном блоке РЗиА марки SMPR 155 (производитель – Orion Italia S.R.L.), реализуются все основные функции, необходимые для защиты ТП-6/0,4 кВ торгового центра. Они детально рассматриваются в работе далее.

Так как в работе применяются новейшие микропроцессорные блоки РЗиА, значит, расчёт уставок основных защит должен проводиться по упрощённой методике, без учёта коэффициентов самозапуска, надёжности и возврата, которые присущи только устаревшим индукционным реле [8].

Ток срабатывания защит от внутренних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального рабочего тока по следующему условию [8]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot I_{м}, \quad (41)$$

где K_o – коэффициент отстройки;

I_m – максимальный ток линии, А.

Ток срабатывания защит от внешних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального тока КЗ по следующему условию [8]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot I_{к}. \quad (42)$$

Для всех защит принимаются различные значения коэффициента отстройки (в зависимости от типа защит и назначения – основная или резервная).

При этом действительный ток срабатывания защит (ток срабатывания релейного микропроцессорного элемента) с учётом коэффициента трансформации ТТ при коэффициенте схемы, равном единице (соединение ТТ и блоков РЗиА в полную и/или неполную «двойную звезду»):

$$I_{c.p} \geq \frac{I_{c.з}}{K_m}, \quad (43)$$

где K_m – коэффициент трансформации трансформатора тока, установленного на линии.

В работе применяются следующие виды защит и устройств автоматики для защиты линии «выключатель РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ торгового центра»:

- дифференциальная защита (ДЗ);
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

Далее проводится выбор уставок срабатывания данных видов РЗА.

МТЗ является защитой от внутренних повреждений, поэтому она отстраивается от максимального рабочего тока с $K_o = 1,1$.

Селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (начиная от источника к потребителю).

Поэтому предварительно можно принять время срабатывания МТЗ на данной линии $t_{c.з} = 1$ с [6].

Дальнейшее согласование времени срабатывания защит необходимо провести после уточнения времени срабатывания защиты на источнике питания [8].

Уставка срабатывания МТЗ линии «выключатель РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ торгового центра» по условию (41):

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 84,8 = 93,3 \text{ А.}$$

ДЗ является основной защитой от внешних повреждений, поэтому отстраивается от максимального тока КЗ с $K_o = 1,3$ [4].

ДЗ выполняется без выдержки времени (мгновенная основная защита без выдержки времени).

Ток срабатывания ДЗ по условию (42):

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 2,14 = 2,78 \text{ кА.}$$

ЗОЗ является основной защитой от однофазных замыканий на землю. Учитывая требования [10], принимается в работе для ЗОЗ линии «выключатель РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ торгового центра» следующие технические параметры: $I_{c.з} = 5 \text{ А}$, $t_{c.з} = 0 \text{ с}$ (без выдержки времени).

Для удобства все полученные результаты сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты выбора типов и уставок РЗиА системы электроснабжения торгового центра

Тип РЗиА	Назначение защиты	Ток срабатывания РЗ, А	Время срабатывания РЗ, с
МТЗ	Защита от внутренних повреждений	93,3	1
ДЗ	Защита от внешних повреждений	2780,0	0 (без выдержки времени)
ЗОЗ	Защита от коротких замыканий на землю	5,0	0 (без выдержки времени)

Все технические параметры и уставки РЗиА линии «выключатель РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ торгового центра» удовлетворяют условиям выбора и проверок по селективности срабатывания и надёжности.

3.2 Расчёт контура заземления торгового центра

Далее в работе необходимо провести расчёт системы заземления системы электроснабжения торгового центра.

Известно, что такая система служит для обеспечения безопасности персонала от поражения электрическим током на объекте, поэтому она имеет большое значение.

Контур заземления системы электроснабжения торгового центра сооружается в виде сетки и состоит из горизонтальных и вертикальных электродов, которые обеспечивают снижение допустимого сопротивления не

более 4 Ом для установок до 1 кВ и ϵ более 10 Ом для электроустановок выше 1 кВ.

Контур заземления объекта проектируется на питающей ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения РП 6 кВ торгового центра. К нему непосредственно будет подключаться вся сеть заземления объекта.

От параметров контура заземления будет напрямую зависеть безопасность всего объекта. Поэтому в работе необходимо провести расчёт именно данного контура заземления цеховой ТП-6/0,4 кВ.

«Производится расчёт контура защитного заземления ТП-6/0,4 кВ согласно методике» [16].

«Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициентов вертикальных и горизонтальных заземлителей (соответственно K_B и K_G)» [16]

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (44)$$

$$\rho_{p.g} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.g}, \quad (45)$$

где « $\rho_{y\delta}$ – значения удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом» [16];

« $K_{n.z}$ и $K_{n.g}$ – нормируемые коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов» [15].

Расчёт показателей:

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

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

«Определяется сопротивление растекания одного вертикального электрода» [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,51 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}, \quad (46)$$

где l, t, d – «принятые габариты и размеры электродов, м» [16].

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,51 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом}.$$

«Число вертикальных заземлителей» [16]

$$n = \frac{R_{\text{О.В}}}{K_{\text{В.}} R_{\text{з.норм}}}, \text{ шт.} \quad (47)$$

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

Принимается $n = 26$ шт.

«Определяется сопротивление растекания горизонтальных электродов при значении $b = 40 \text{ мм}^2$, $h = 4 \text{ мм}$, по формуле» [16]:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_p}{K_{u.2} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.} \quad (48)$$

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

$$R_{\text{в.э.}} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (49)$$

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

«При этом» [16]

$$n = \frac{R_{O.B}}{K_B \cdot R_{B.E}}, \text{шт.} \quad (50)$$

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

Исходя из результатов, в проектируемом контуре защитного заземления, принимается 25 вертикальных электродов (ближайшее целое число с учётом коррекции). В виду того, что все требуемые условия документов и методики расчётов выполнены, окончательно принимается к установке в контуре заземления на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов).

Спроектированный контур заземления устанавливается по контуру (периметру) ТП-6/0,4 кВ и подсоединяется к её сети заземления, а также к сети заземления оборудования торгового центра.

Конструкция заземляющего устройства, спроектированного в виде контура заземления ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения торгового центра, с учётом её расположения, представлена на графическом листе 6.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела, проведён выбор и проверка микропроцессорных блоков РЗиА.

На основании изучения нормативной технической литературы и каталогов продукции, в работе выбраны современные микропроцессорные блоки РЗиА марки SMPR 155 (производитель – Orion Italia S.R.L.).

Рассчитаны основные типы и уставки релейных защит, линии «выключатель РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ торгового центра» удовлетворяют условиям выбора и проверок по селективности срабатывания и надёжности.

Спроектирован контур защитного заземления ТП-6/0,4 кВ с применением 25 вертикальных электродов.

Заключение

В результате выполнения работы, разработан проект реконструкции системы электроснабжения торгового центра согласно исходным данным и заданию на выполнение работы.

Проведён детальный анализ исходных данных по электроснабжению торгового центра. Для этого в работе детально рассмотрены и проанализированы следующие вопросы:

- приведена детальная техническая характеристика основных потребителей рассматриваемого в работе торгового центра;
- детально описана и рассмотрена схема электроснабжения торгового центра;
- приведена техническая характеристика основных присоединений РП 6 кВ торгового центра, а также рассмотрено основное оборудование и схема соединений РП 6 кВ торгового центра;
- приведена техническая характеристика схемы и оборудования ТП-6/0,4 кВ, получающего питание от рассматриваемого в работе РП 6 кВ торгового центра.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность внедрения мероприятий по проведению реконструкции системы электроснабжения торгового центра.

Установлено, что изменения в исходную схему электроснабжения торгового центра необходимо проводить по трём основным направлениям:

- частичная модернизация оборудования и сетей системы электроснабжения торгового центра на всех уровнях;
- реконструкция схемы и модернизация оборудования РП 6 кВ объекта исследования;
- реконструкция схемы и модернизация оборудования питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ объекта.

Для решения поставленных задач в работе было проведено решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей системы электроснабжения в целом, с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов ТП-6/0,4 кВ с учётом реконструкции схемы электроснабжения. Установлено, что два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10 обеспечат качественное электроснабжение потребителей объекта;
- выбор и проверка проводников в системе электроснабжения торгового центра. Установлено, что для питающей линии 6 кВ (от РП 6 кВ до РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ) по экономическим и техническим условиям необходимо применять кабели марки АСБ-6 (3×35), а для питающей сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки АВВГнг различных сечений;
- определение токов трёхфазного короткого замыкания, токов двухфазного короткого замыкания и величины ударных токов, в расчётных точках схемы на сторонах 6 кВ и 0,4 кВ;
- выбор и проверка электрических аппаратов 6 кВ и 0,4 кВ современного типа, для их непосредственной установки в камерах и ячейках РП 6 кВ, а также в РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ. Все выбранные аппараты проверены на термическую и динамическую стойкости к максимальным токам схемы, токам трёхфазного короткого замыкания, а также ударным токам, рассчитанным в работе ранее.

Проведён выбор и проверка микропроцессорных блоков РЗиА для защиты линии «РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ».

На основании изучения нормативной технической литературы и каталогов продукции, в работе выбраны современные новейшие микропроцессорные блоки РЗиА марки SMPR 155 (производитель – Orion Italia S.R.L.).

Рассчитаны основные типы и уставки релейных защит микропроцессорных блоков РЗиА марки SMPR 155 (производитель – Orion Italia S.R.L.).

Установлено, что все защиты линии «выключатель РП 6 кВ – ТП-6/0,4 кВ торгового центра» удовлетворяют условиям выбора и проверок по селективности срабатывания и надёжности.

Также в работе спроектирован контур защитного заземления ТП-6/0,4 кВ в форме квадрата, с применением двадцати пяти вертикальных электродов, обеспечивающих надёжные условия безопасности людей торгового центра.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения торгового центра позволят значительно повысить показатели надёжности, экономичности, безопасности, качества передачи электроэнергии, схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Список используемых источников

1. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология. М.: Колос, 2018. 343 с.
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интернет Инжиниринг, 2017. 672 с.
3. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2019. 268 с.
4. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2019. 261 с.
5. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
6. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2018. 184 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
8. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
12. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и

подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2019. 448 с.

13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

14. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», Госстрой РФ, 2017. 73 с.

15. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).

16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

18. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СПб.: ПЭИПК, 2018. 148 с.

19. Шуин В. А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2021. 242 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.