

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой
застройки с объектами социальной инфраструктуры в г. Москва

Обучающийся

П. П. Ковалёв

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д. Л. Спиридонов

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

Аннотация

В представленной работе разработан проект сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки с объектами социальной инфраструктуры в городе Москве.

Рассмотрены вопросы выбора оптимальной схемы электроснабжения, проведён расчёт электрических нагрузок, осуществлён подбор и проверка силовых трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ.

Выполнен расчёт токов короткого замыкания, определены сечения кабельных линий, произведён выбор электрических аппаратов и системы учёта и контроля электроэнергии.

Особое внимание уделено обеспечению безопасности проекта в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Представленные решения направлены на повышение надёжности и эффективности системы электроснабжения, соответствуют современным техническим стандартам и могут быть использованы при проектировании аналогичных объектов.

Таким образом, в результате внедрения мероприятий по разработке схемы электрических соединений, а также выбору современных электрических сетей и оборудования, на объекте проектирования улучшены показатели бесперебойности передачи электроэнергии, а также повышена селективность и быстродействие системы защиты, что обеспечивает более эффективное функционирование системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика объекта проектирования.....	7
1.1 Характеристика географического расположения и климатических условий многоэтажной жилой застройки.....	7
1.2 Характеристика исходных технических данных на проектирование многоэтажной жилой застройки.....	13
2 Выбор схемы наружного электроснабжения объекта проектирования	20
3 Расчет электрических нагрузок	27
4 Выбор и проверка силовых трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ ...	35
5 Расчет токов короткого замыкания	38
6 Выбор сечения кабельных линий	46
7 Выбор электрических аппаратов и системы учёта и контроля электроэнергии	51
7.1 Выбор электрических аппаратов сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки.....	51
7.2 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки	56
8 Обеспечение безопасности проекта	63
Заключение	67
Список используемых источников.....	71

Введение

Развитие городской инфраструктуры в мегаполисах, таких как Москва, требует создания надёжных и эффективных систем электроснабжения для новых районов многоэтажной жилой застройки с объектами социальной инфраструктуры.

Увеличение плотности населения и рост потребностей в электроэнергии обуславливают необходимость внедрения современных технических решений при проектировании внешних сетей электроснабжения, обеспечивающих стабильную работу энергосистемы и соответствие требованиям энергетической безопасности.

Современное состояние вопроса характеризуется активным внедрением инновационных технологий в области передачи и распределения электроэнергии, что требует от инженеров-проектировщиков глубокого понимания действующих стандартов и нормативных документов.

В условиях урбанизации и ограниченности городских территорий особое значение приобретает оптимизация схем электроснабжения, выбор надёжного оборудования и обеспечение безопасности эксплуатации электрических сетей.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективных и безопасных сетей наружного электроснабжения для удовлетворения возросших потребностей населения и обеспечения устойчивого развития городской инфраструктуры.

Рациональное проектирование таких систем является ключевым фактором для стабильного функционирования жилых комплексов и объектов социальной значимости, включая школы, детские сады, медицинские учреждения и другие общественные здания.

При этом государственная поддержка играет существенную роль в реализации данных проектов. В рамках федеральных программ и стратегий развития энергетики предусмотрены меры по финансированию и

стимулированию обновления энергетической инфраструктуры. Данные аспекты отражены в национальных проектах, направленных на развитие жилищно-коммунального хозяйства, повышение энергоэффективности и обеспечение энергетической безопасности. Государство предоставляет субсидии, льготные кредиты и инвестиционные стимулы для привлечения частных инвестиций в эту сферу.

Также проектирование современной энергетической инфраструктуры создаёт предпосылки для внедрения инновационных технологий и развития «умных городов», что открывает новые возможности для экономического роста и технологического прогресса.

Таким образом, проектирование систем электроснабжения новых районов многоэтажной жилой застройки с объектами социальной инфраструктуры городов Российской Федерации являются стратегически важными направлениями, способствующими повышению надёжности и эффективности энергетической системы страны [20].

Основная цель работы заключается в разработке оптимальной сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки с объектами социальной инфраструктуры в городе Москве, обеспечивающей надёжное и безопасное электроснабжение всех потребителей при минимальных затратах и соответствии современным техническим и нормативным требованиям.

Объектом исследования выступает многоэтажная жилая застройка с объектами социальной инфраструктуры в городской среде Москвы.

Предметом исследования являются методы и подходы к проектированию внешних электрических сетей, включая выбор схем электроснабжения, расчёт нагрузок, выбор оборудования и обеспечение безопасности системы.

Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ исходной характеристики объекта проектирования, учитывая особенности городской застройки, требования к электроснабжению и существующую инфраструктуру.

Далее требуется выбрать оптимальную схему наружного электроснабжения, обеспечивающую надёжность и эффективность передачи электроэнергии.

Затем необходимо выполнить расчёт электрических нагрузок для определения необходимых мощностей и параметров системы.

Далее следует осуществить подбор и проверку силовых трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ с учётом расчётных нагрузок и требований надёжности.

Также важно провести расчёт токов короткого замыкания для обеспечения безопасности и правильного выбора защитных устройств.

Кроме того, требуется определить сечения кабельных линий, обеспечивающих минимальные потери энергии и соответствие нормативным требованиям.

Необходимо произвести выбор электрических аппаратов и системы учёта и контроля электроэнергии для эффективного управления и мониторинга системы электроснабжения.

Особое внимание следует уделить разработке мероприятий по обеспечению безопасности проекта, включая защиту от перегрузок, коротких замыканий и других аварийных ситуаций.

Результаты работы направлены на создание комплексного решения по проектированию сетей наружного электроснабжения, способствующего повышению качества и надёжности электроснабжения городских объектов, а также соответствующего современным требованиям энергетической эффективности и безопасности.

1 Исходная характеристика объекта проектирования

1.1 Характеристика географического расположения и климатических условий многоэтажной жилой застройки

Проектируемая в данной работе многоэтажная жилая застройка представляет собой современный жилой комплекс, расположенный в одном из перспективных районов Москвы на улице Озерной, вл. 42-46 [3].

Удачное географическое расположение комплекса обеспечивает удобный доступ к основным транспортным магистралям города, что значительно повышает мобильность жителей и улучшает транспортную связь с другими районами столицы.

Расположение границ объектов проектируемой многоэтажной жилой застройки на карте г. Москва представлено на рисунке 1.

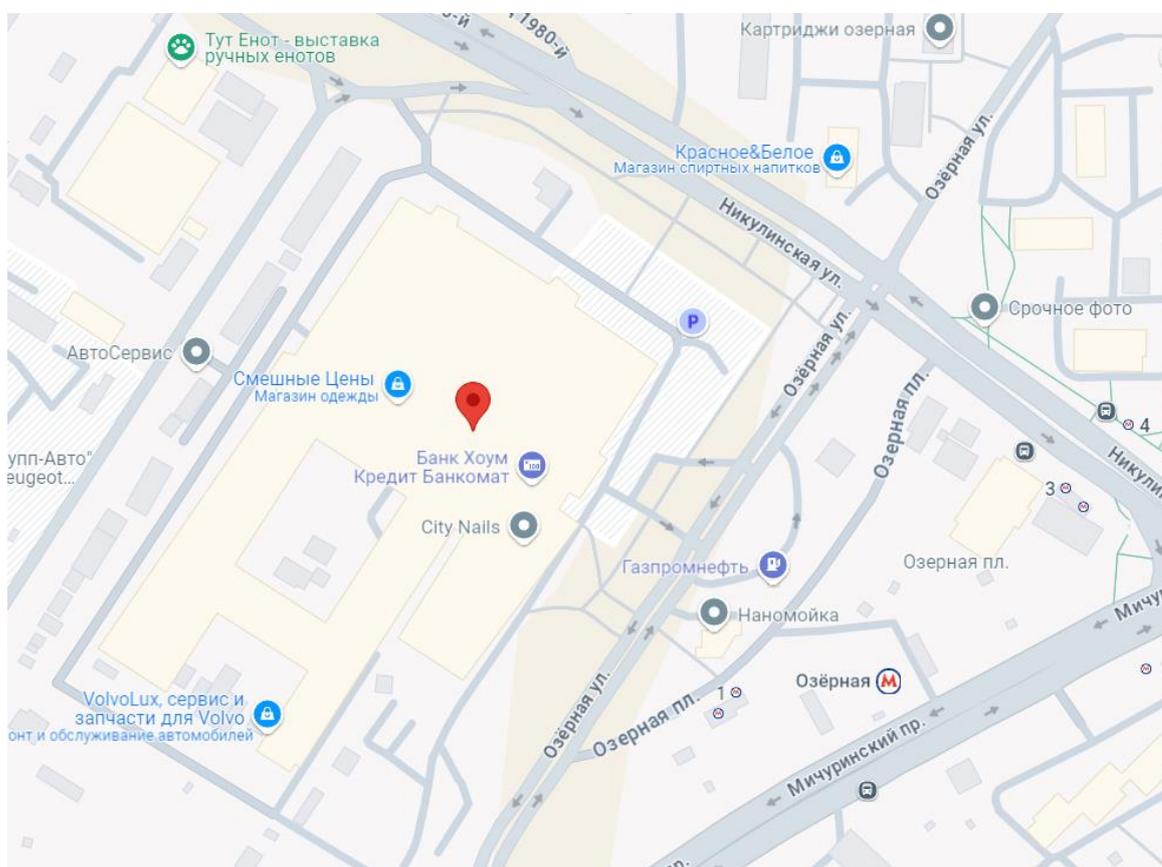


Рисунок 1 – Границы объектов проектируемой многоэтажной жилой застройки на карте г. Москва

Архитектурный облик жилой застройки создаёт гармоничное сочетание функциональности и эстетической привлекательности, воплощая современные градостроительные подходы и отражая актуальные тенденции в проектировании городских жилых комплексов.

Здания комплекса обладают не только современным внешним видом, но и продуманной инфраструктурой, что делает их привлекательными для будущих жителей.

Для выбора оптимального климатического исполнения оборудования, а также определения методов прокладки электрических сетей, проводится всесторонний анализ климатических и топографических особенностей района, где будет возведена многоэтажная жилая застройка.

Данный анализ позволяет учесть влияние климатических факторов на эксплуатацию электротехнического оборудования, выбрать подходящее защитное исполнение и обеспечить надёжное электроснабжение в условиях московского региона. При анализе применяется источник [5].

Территория, выбранная для сооружения многоэтажной жилой застройки на улице Озёрная в городе Москве, характеризуется специфическими климатическими и топографическими условиями, которые необходимо учитывать при проектировании сетей электроснабжения и выборе оборудования. Климат данного района относится к умеренно континентальному с выраженными сезонными колебаниями температуры и осадков.

Среднегодовая температура воздуха в Москве составляет около $+5,8^{\circ}\text{C}$. Зимний период характеризуется устойчивыми отрицательными температурами, где средняя температура января составляет примерно -9°C . Возможны экстремальные понижения температуры до -30°C , что обусловлено влиянием арктических воздушных масс. Летний период отличается относительно тёплыми погодными условиями, средняя температура июля достигает $+19^{\circ}\text{C}$, с возможными повышениями до $+30^{\circ}\text{C}$ в периоды аномальной жары. Такие температурные колебания требуют использования

оборудования с широким диапазоном рабочих температур и устойчивостью к низким и высоким температурам.

Температурный график г. Москвы представлен на рисунке 2.

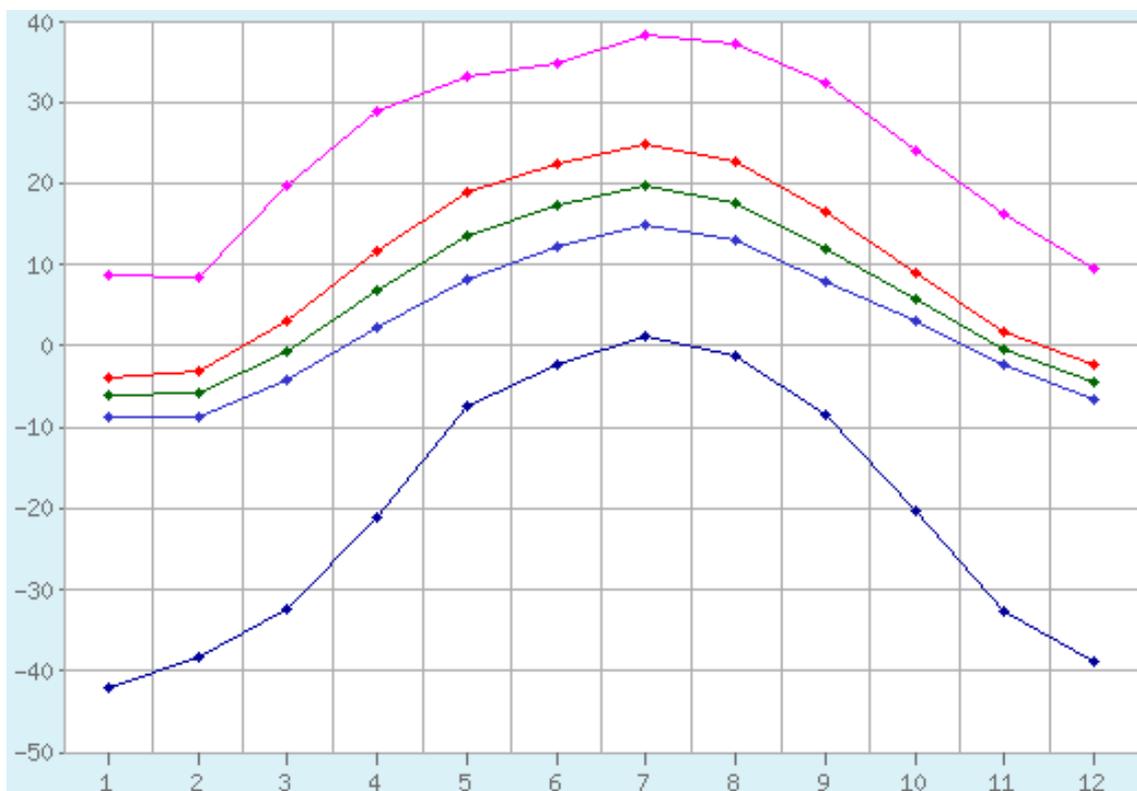


Рисунок 2 – Температурный график г. Москвы

Годовое количество осадков в районе строительства составляет около 700 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в летние месяцы, особенно в июле и августе, что связано с активной циклонической деятельностью.

Зимний период характеризуется значительным количеством снега, что приводит к образованию снежного покрова толщиной до 35-40 см. Высокий уровень осадков может влиять на влажность грунта и окружающей среды, что необходимо учитывать при выборе изоляции кабельных линий и степени защиты оборудования от влаги и конденсата.

Грозовая деятельность в Москве проявляется преимущественно в летний период, с наибольшей частотой гроз в июне и июле. В среднем количество дней с грозами достигает 20-25 в год.

Интенсивность грозовой активности требует особого внимания при организации молниезащиты зданий и оборудования, а также при выборе средств защиты от импульсных перенапряжений в электрических сетях. Графики среднемесячного количества осадков для дождя, снеговых и смешанных осадков в г. Москва представлены на рисунке 3.

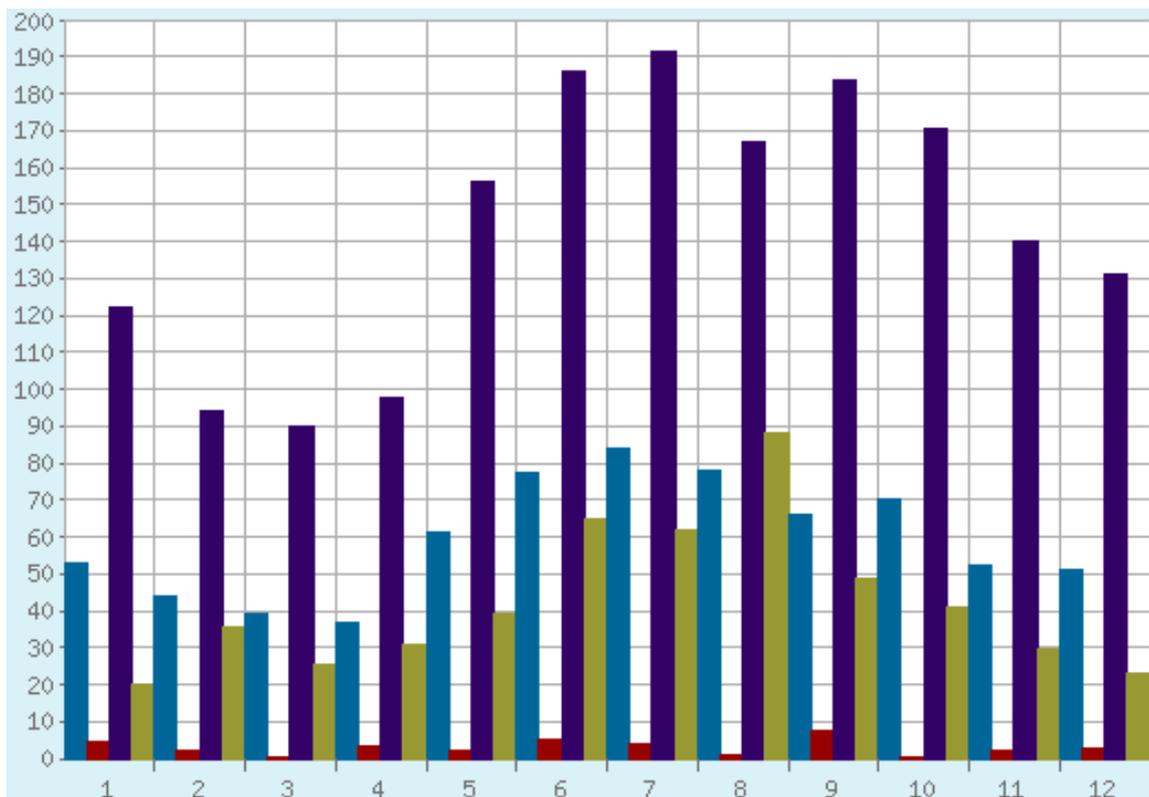


Рисунок 3 – Графики среднемесячного количества осадков для дождя, снеговых и смешанных осадков в г. Москва

Скорость ветра в районе улицы Озёрная в среднем составляет 3-5 м/с. Однако в периоды усиления атмосферных фронтов возможны порывы ветра до 15-20 м/с. Преобладающие направления ветра – западные и юго-западные, что обусловлено общим циркуляционным режимом атмосферы в данном регионе. Ветровые нагрузки могут оказывать влияние на устойчивость воздушных линий электропередачи и опор, поэтому при проектировании следует учитывать требования по ветровым нагрузкам согласно нормативным документам.

График «розы ветров» в г. Москва представлен на рисунке 4.

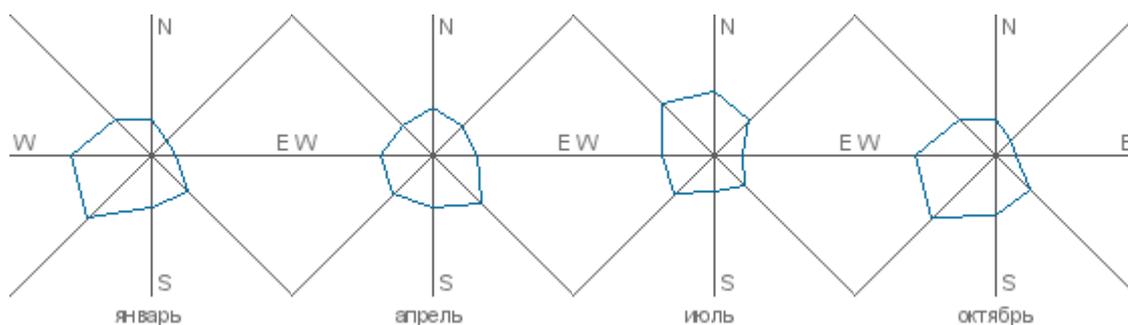


Рисунок 4 – График «розы ветров» в г. Москва

Топографические условия района характеризуются относительно ровным рельефом с незначительными перепадами высот. Грунты преимущественно представлены суглинками и глинами с достаточно высокой несущей способностью, что благоприятно сказывается на строительстве фундаментов и прокладке подземных коммуникаций. Однако возможна повышенная влажность грунтов в периоды обильных осадков или таяния снегов, что может влиять на коррозионную активность среды и требует соответствующих мер защиты кабельных линий и подземного оборудования.

Учитывая климатические и топографические особенности района, при выборе сетей и оборудования необходимо предусмотреть использование кабельных линий с повышенной защитой от влаги и механических повреждений.

Рекомендуется применять кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и внешней оболочкой, устойчивой к воздействию влаги и агрессивных сред.

Степень защиты оборудования должна быть не ниже IP54 для наружной установки и IP65 для оборудования, подверженного прямому воздействию атмосферных осадков.

Оборудование должно обладать широким диапазоном рабочих температур, чтобы обеспечивать надёжную работу в условиях значительных колебаний температуры воздуха. Использование термически устойчивых материалов и конструкций позволит избежать негативного влияния

температурных расширений и сжатий на соединения и контактные поверхности.

В связи с высокой грозовой активностью рекомендуется установить системы молниезащиты согласно требованиям нормативных документов отрасли. Необходимо предусмотреть установку ограничителей перенапряжения на вводах в здания и на ключевых узлах электросети. Данный аспект позволит защитить оборудование от импульсных перенапряжений и снизить риск выхода из строя электронных компонентов.

Ветровые нагрузки требуют особого внимания при проектировании опор воздушных линий электропередачи и выборе конструкций антенн и мачт. Следует использовать материалы и конструкции, способные выдерживать расчётные ветровые нагрузки с учётом возможных порывов ветра. Крепёжные элементы и соединения должны быть рассчитаны на дополнительные динамические нагрузки, чтобы предотвратить механические повреждения и обрушение конструкций.

Повышенная влажность грунтов и возможность подтоплений в периоды интенсивных осадков обуславливают необходимость использования специальных мер защиты кабельных каналов и колодцев от проникновения грунтовых вод. Гидроизоляция подземных сооружений и применение дренажных систем помогут предотвратить негативное влияние влаги на оборудование и инфраструктуру.

Таким образом, климатические и топографические условия района строительства многоэтажной жилой застройки на улице Озёрная в Москве оказывают значительное влияние на выбор сетей электроснабжения и оборудования.

Учитывая холодные зимы с низкими температурами, жаркие летние периоды, высокую влажность и грозовую активность, необходимо тщательно подойти к подбору материалов и технических решений, обеспечивающих надёжную и безопасную эксплуатацию электрической сети в течение всего срока службы.

1.2 Характеристика исходных технических данных на проектирование многоэтажной жилой застройки

Далее приводится описание и характеристика потребителей проектируемой системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москвы.

В состав проектируемой системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки в городе Москве входят различные объекты, каждый из которых выполняет определённые функции и обладает специфическими характеристиками, влияющими на требования к электроснабжению.

В состав проектируемой системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москвы входят жилые многоэтажные дома (жилая застройка), нежилые помещения без конкретного функционального назначения (БКФН), дошкольные образовательные организации (ДОО), средние образовательные школы (СОШ), паркинги, офисы, апартаменты, торговый центр.

Жилые многоэтажные дома представляют собой основные элементы застройки, предназначенные для постоянного проживания граждан. Архитектурная концепция данных зданий предусматривает современный подход к организации жилого пространства, включающий различные типы квартир, от одно- до многокомнатных, с учётом комфорта и функциональности. Конструктивно здания выполнены с использованием монолитного железобетона и высококачественных материалов, обеспечивающих долговечность и энергоэффективность. Инженерные системы домов включают современные коммуникации, системы безопасности и автоматизации, что предъявляет высокие требования к качеству и надёжности электроснабжения.

Нежилые помещения без конкретного функционального назначения (БКФН) являются многофункциональными пространствами, предназначенными для последующей адаптации под различные виды

деятельности. Такие помещения могут использоваться для размещения офисов, коммерческих организаций, образовательных или медицинских учреждений. Конструктивные особенности БКФН позволяют гибко изменять внутреннюю планировку и оснащать помещения необходимыми инженерными коммуникациями. С точки зрения электроснабжения, данные объекты требуют создания универсальной и масштабируемой системы электропитания, способной адаптироваться к различным нагрузкам и обеспечивать надёжность при изменении функционального назначения помещений.

Дошкольные образовательные организации (ДОО) являются важным элементом социальной инфраструктуры района, обеспечивая образовательные услуги для детей дошкольного возраста. Здания детских садов спроектированы с учётом требований безопасности, комфорта и развития детей. Архитектура включает игровые и учебные помещения, спортивные залы, помещения для отдыха и питания. Инженерные системы ДОО оснащены современным оборудованием, требующим стабильного и безопасного электроснабжения. Особое внимание уделяется системам безопасности, таким как пожарная сигнализация, системы контроля доступа и видеонаблюдение, что повышает требования к бесперебойности электропитания.

Средние образовательные школы (СОШ) выполняют функцию предоставления общего образования для детей и подростков. Здания школ предусматривают наличие учебных классов, лабораторий, библиотек, спортивных залов и актовых залов. Современные школы оснащены информационно-коммуникационными технологиями, интерактивными досками, компьютерными классами и другими средствами обучения, требующими качественного электроснабжения.

Кроме того, системы безопасности и жизнеобеспечения школы, включая отопление, вентиляцию и кондиционирование, зависят от надёжной работы электрических сетей.

Паркинги в составе жилой застройки предназначены для размещения личного автотранспорта жителей и гостей комплекса. Конструктивно паркинги могут быть подземными или наземными, одно- или многоуровневыми. Оснащение паркингов включает системы освещения, вентиляции, пожаротушения и охранной сигнализации. В связи с развитием электромобилей, в паркингах предусматривается установка зарядных станций, что увеличивает нагрузку на систему электроснабжения и требует соответствующего проектирования электрических сетей.

Офисы, расположенные в пределах жилой застройки, предоставляют рабочие пространства для различных компаний и организаций. Офисные помещения оборудуются современными средствами связи, компьютерной техникой, системами кондиционирования и освещения. Эффективная работа офисов зависит от качественного и бесперебойного электроснабжения, а также от возможности адаптации системы электропитания под изменяющиеся требования бизнеса, включая возможное увеличение нагрузок при расширении штата или внедрении новых технологий.

Апартаменты представляют собой жилые помещения, сочетающие в себе функции гостиничного сервиса и комфорта постоянного проживания. Данные потребители предназначены для временного или постоянного проживания и часто оснащаются дополнительными услугами, такими как уборка, доставка питания и другие сервисы. Архитектура апартаментов предусматривает высококачественную отделку, современные инженерные системы, включая интеллектуальные системы управления «умный дом». Всё это обуславливает повышенные требования к стабильности и качеству электроснабжения, а также к возможности интеграции с системами автоматизации и управления энергопотреблением.

Торговый центр в составе жилой застройки выполняет функцию обеспечения жителей и гостей района товарами и услугами повседневного спроса. Данный объект включает в себя различные торговые площади, супермаркеты, бутики, рестораны, зоны развлечений и досуга. Торговый

центр оснащается сложными инженерными системами: освещения, вентиляции, кондиционирования, эскалаторы, лифты, системы безопасности и автоматизации. Нагрузка на систему электроснабжения торгового центра является значительной и требует тщательного проектирования электрических сетей с учётом пиковых нагрузок, особенностей работы различных арендаторов и необходимости обеспечения бесперебойной работы систем жизнеобеспечения и безопасности.

Каждый из указанных объектов играет важную роль в формировании функционального и комфортного жилого пространства. Проектирование системы электроснабжения должно учитывать индивидуальные особенности каждого объекта, обеспечивая надёжное и эффективное энергопитание, соответствующее современным требованиям безопасности, энергоэффективности и экологической устойчивости. Интеграция всех элементов в единую систему позволяет оптимизировать энергопотребление, внедрять технологии «умного» управления и создавать благоприятные условия для проживания и работы в новом жилом комплексе.

Исходные технические данные потребителей многоэтажной жилой застройки г. Москва приведены в таблице 1.

Согласно плану застройки, на объекте предусмотрено питание всех потребителей от десяти понизительных трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (ТП-10/0,4 кВ). С учётом данного факта, все потребители в таблице 1 распределены по своим питающим ТП-10/0,4 кВ.

Таблица 1 – Исходные технические данные потребителей многоэтажной жилой застройки г. Москва

Номер по плану	Наименование объекта	$P_{\text{проект.}}$, кВт
ТП-1		
1.1	ВРУ-1-1.1 Жилая часть	275,30
1.1	ВРУ-3-1.1 БКФН	52,80
1.2	ВРУ-2-1.2 Жилая часть	273,20
1.2	ВРУ-4-1.2 БКФН	61,40
1.2	ВРУ-5-1.2 Паркинг	159,10
7 (ДОО)	ВРУ-ДОО	292,00
Итого на шинах ТП-1		861,11

Продолжение таблицы 1

Номер по плану	Наименование объекта	R _{проект.} , кВт
ТП-2		
2.1	ВРУ-1-2.1 Жилая часть	275,40
2 1	ВРУ-3-2.1 БКФН	115,70
2.2	ВРУ-2-2.2 Жилая часть	303,20
2.2	ВРУ-4-2.2 БКФН	101,40
2.2	ВРУ-5-2.2 Паркинг	149,50
БРП НО-2	ВРУ БРП НО-2	50,00
Итого на шинах ТП-2		852,26
ТП-3		
1.3	ВРУ-1.3 Жилая часть	279,70
1.3	ВРУ-2 3 БКФН	100,50
П1	ВРУ-3.3 Паркинг на 169 м/мест	65,20
1.4	ВРУ-1.4 Жилая часть	219,00
1.4	ВРУ-2.4 Жилая часть	267,30
1.4	ВРУ-3.4 БКФН	116,20
1.5	ВРУ-1.5 Жилая часть	211,60
1.5	ВРУ-2.5 БКФН	133,80
1.6	ВРУ-1.6 Жилая часть	219,30
1.6	ВРУ-2.6 Жилая часть	267,20
1.6	ВРУ-3.6 БКФН	148,00
БРП НО-1	ВРУ БРП НО-1	50,00
Итого на шинах ТП-3		1852,29
ТП-4		
13.1	ВРУ-1.1 Офисы	289,10
13.1	ВРУ-1.2 Апартаменты	330,08
13.2	ВРУ-2.1 Офисы	149,30
13.2	ВРУ-2 2 Апартаменты	193,01
П1	ВРУ-3 1 Паркинг на 90 м/мест	37,80
Итого на шинах ТП-4		855,99
ТП-5		
12 1	ВРУ-1.1 Офисы	175,30
12.1	ВРУ- 1.2 Апартаменты	171,38
12.2	ВРУ-2.1 Офисы	127,70
12.2	ВРУ-2.2 Апартаменты	286,65
Итого на шинах ТП-5		683,29
ТП-6		
12.3	ВРУ-3.2 Торговый центр	2814,75
П2	ВРУ-4.2 Паркинг на 307 м/мест	96,71
ДОС 150	ДОО на 150 мест	213,00
Итого на шинах ТП-6		2986,98
ТП-7		
2.3	ВРУ-1 Жилая часть	319,60
2.3	ВРУ-2 БКФН	98,20
2.3	ВРУ-3 а/с	83,80
2.4	ВРУ-1.1 Жилая часть	267,00
2.4	ВРУ-1.2 Жилая часть	125,20
2.4	ВРУ-2 БКФН	283,10
2.4	ВРУ-2 Жилая часть	121,90

Продолжение таблицы 1

Номер по плану	Наименование объекта	Р _{проект.} , кВт
2.5	ВРУ-1 Паркинг	143,80
2.5	ВРУ-2 БКФН	283,10
2.6	ВРУ-1.1 Жилая часть	329,00
2.6	ВРУ-1.2 Жилая часть	314,20
2.6	ВРУ-2 БКФН	172,00
СОШ 1100 мест	ВРУ-1	309,00
СОШ 1100 мест	ВРУ-2	201,00
Итого на шинах ТП-7		2556,53
ТП-8		
3.1	ВРУ-1.1 Жилая часть	298,06
3.1	ВРУ-2.1 БКФН	210,00
3.2	ВРУ-1.2 Жилая часть	273,37
3.2	ВРУ-2.2 Жилая часть	266,22
3.2	ВРУ-3,2 БКФН	162,60
П1	ВРУ-4.2 Паркинг на 265 м/мест	92,75
3.3	ВРУ-1.3 Жилая часть	298,06
3.3	ВРУ-2.3 БКФН	106,00
3.4	ВРУ-1.4 Жилая часть	273,37
3.4	ВРУ-2.4 Жилая часть	267,29
3.4	ВРУ-3.4 БКФН	150,00
Итого на шинах ТП-8		2062,04
ТП-9		
4.1	ВРУ-1.1 Жилая часть	273,37
4.1	ВРУ-2.1 Жилая часть	266,22
4.1	ВРУ-3.1 БКФН	150,00
4.6	ВРУ-1.6 Жилая часть	300,22
П1	ВРУ-4.1 Паркинг на 113 м/мест	43,51
4.6	ВРУ-2,6 БКФН	106,00
ДОО 350 мест	ДОО 350 мест	348,00
СОШ 550 мест	СОШ 550 мест	405,00
Итого на шинах ТП-9		1305,41
ТП-10		
4.2	ВРУ-1.2 Жилая часть	298,06
4.2	ВРУ-2.2 БКФН	106,00
4.3	ВРУ-1.3 Жилая часть	273,37
4.3	ВРУ-2.3 Жилая часть	269,44
4.3	ВРУ-3В БКФН	181,40
4.4	ВРУ-Жилая часть	298,06
4.4	ВРУ-2.4 БКФН	106,00
П2	ВРУ-3.4 Паркинг на 235 м/мест	82,25
4.5	ВРУ-1.5 Жилая часть	213,31
4.5	ВРУ-2,5 Жилая часть	266,22
4.5	ВРУ-3.5 БКФН	254,00
Итого на шинах ТП-10		2031,88
Итого по многоэтажной жилой застройке		11061,00

План расположения потребителей и подстанций многоэтажной жилой застройки г. Москва приведён на графическом листе 1.

Таким образом установлено, что к существующей нагрузке многоэтажной жилой застройки г. Москва относится 80 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности, получающие питание от десяти понизительных ТП-10/0,4 кВ.

Выводы по разделу.

Учитывая климатические и топографические особенности района, при выборе сетей и оборудования необходимо предусмотреть использование кабельных линий с повышенной защитой от влаги и механических повреждений.

В связи с этим, рекомендуется применять кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и внешней оболочкой, устойчивой к воздействию влаги и агрессивных сред. Степень защиты оборудования должна быть не ниже IP54 для наружной установки и IP65 для оборудования, подверженного прямому воздействию атмосферных осадков.

Установлено, что в состав проектируемой системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москвы входят жилые многоэтажные дома (жилая застройка), нежилые помещения без конкретного функционального назначения (БКФН), дошкольные образовательные организации (ДОО), средние образовательные школы (СОШ), паркинги, офисы, апартаменты, торговый центр.

Определено, что к существующей нагрузке многоэтажной жилой застройки г. Москва относится 80 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности, получающие питание от десяти понизительных ТП-10/0,4 кВ (согласно плану застройки объекта проектирования).

2 Выбор схемы наружного электроснабжения объекта проектирования

Электроснабжение многоэтажной жилой застройки г. Москва планируется осуществить через сеть двухтрансформаторных понизительных подстанций напряжением 10/0,4 кВ.

Указанная электрическая сеть ТП-10/0,4 кВ получают питание от распределительного пункта 10 кВ (далее – РП-10 кВ) кабельными линиями.

Для схемы наружного электроснабжения объекта исследования, принимается рекомендуемая петлевая магистральная схема с двухсторонним питанием, представленная в работе на рисунке 5.

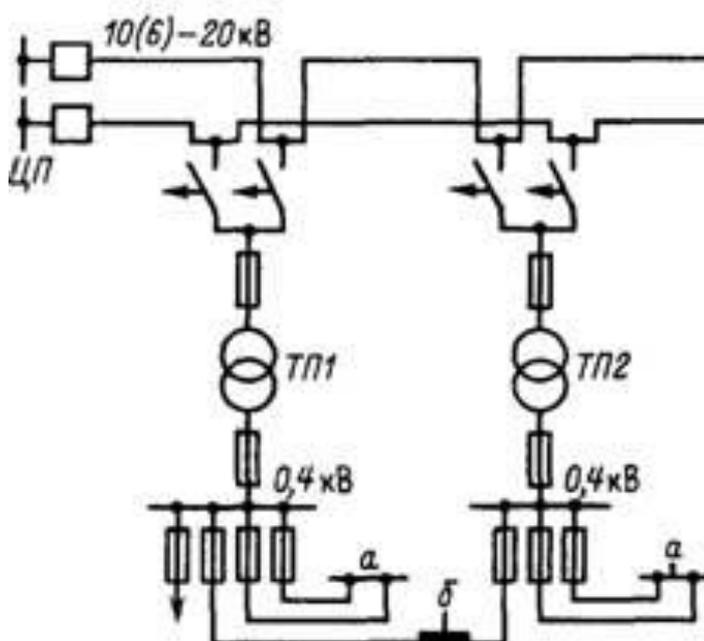


Рисунок 5 – Принцип компоновки петлевой магистральной схемы с двухсторонним питанием

Проводится обоснование и описание выбранного типа схемы. Применение петлевой схемы на напряжении 10 кВ для питания трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в многоэтажной жилой застройке города Москвы обосновано техническими и эксплуатационными преимуществами, соответствующими современным требованиям надёжности и эффективности электроснабжения [12].

Петлевая схема представляет собой замкнутую конфигурацию электрической сети, где каждый участок питается от двух направлений, что обеспечивает резервирование и повышает устойчивость системы к аварийным ситуациям.

В условиях высокой плотности городской застройки и значительной концентрации электрических нагрузок в жилых комплексах применение петлевой схемы позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей.

При возникновении повреждения на одном из участков сети возможность переключения нагрузки на альтернативный путь обеспечивает непрерывность подачи электроэнергии, что особенно важно для объектов первой и второй категории надёжности, к которым относятся жилые дома, объекты социальной инфраструктуры и системы жизнеобеспечения.

Технические преимущества петлевой схемы проявляются в равномерном распределении нагрузок по сетям среднего напряжения, снижении токов короткого замыкания и уменьшении потерь электроэнергии.

Замкнутая конфигурация позволяет оптимизировать параметры сети, сократить длину кабельных линий и уменьшить количество необходимых подстанций, что приводит к снижению капитальных и эксплуатационных затрат.

Кроме того, возможность оперативного управления потоками мощности в петлевой сети способствует повышению эффективности работы системы электроснабжения и улучшению качества электроэнергии у потребителей.

С точки зрения надёжности, петлевая схема обеспечивает высокую степень резервирования.

При отключении одного из элементов сети, например, в результате аварии или проведения плановых ремонтных работ, электроэнергия продолжает поступать к потребителям по альтернативному маршруту.

Данный аспект снижает вероятность полной потери электроснабжения и минимизирует время восстановления нормального режима работы сети.

Такая конфигурация соответствует требованиям нормативных документов и стандартов, регламентирующих надёжность электроснабжения в городских условиях.

Эксплуатационные преимущества петлевой схемы включают возможность автоматического или дистанционного управления режимами работы сети.

Использование современных систем автоматизации и телемеханики позволяет быстро обнаруживать и локализовать места повреждений, осуществлять переключения без участия оперативного персонала на месте и тем самым сокращать время реакции на аварийные ситуации.

Данный фактор повышает общую оперативность управления сетью и снижает затраты на эксплуатацию и обслуживание.

В условиях городской среды, где прокладка дополнительных кабельных линий может быть затруднена из-за ограничений по землеотводу и высокой стоимости земельных ресурсов, петлевая схема предоставляет возможность более рационального использования существующих трасс и инфраструктуры.

Компактность и гибкость такой схемы позволяют интегрировать её в существующие городские электрические сети без значительных реконструкций и нарушений городского ландшафта.

С учётом вышеизложенного, применение петлевой схемы на напряжении 10 кВ для питания трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в многоэтажной жилой застройке города Москвы является обоснованным и целесообразным решением.

Такое решение позволяет обеспечить высокую надёжность и качество электроснабжения, оптимизировать затраты на строительство и эксплуатацию сети, а также соответствует современным техническим требованиям и нормативным документам в области электроэнергетики.

Исходя из приведённой информации, окончательно принимается петлевая магистральная схема с резервированием для сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москва.

Проводится разделение питания десяти распределительных ТП-10/0,4 кВ на питающие магистрали 10 кВ.

Первая магистраль М1 питает сеть подстанций ТП-10/0,4 кВ: ТП1-ТП2-ТП3-ТП4.

От второй магистрали М2 получают питание сеть подстанций ТП-10/0,4 кВ: ТП5-ТП6-ТП7.

Третья магистраль М1 питает сеть подстанций ТП-10/0,4 кВ: ТП8-ТП9-ТП10.

Питающий РП-10 кВ многоэтажной жилой застройки получает питание от подстанции 110/10 кВ «Очаково».

Для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ используются кабельные линии, сечение которых выбирается в работе далее.

На питающем РП-10 кВ устанавливаются выключатели высокого напряжения, которые коммутируют и защищают три магистральные линии.

Проводится выбор рациональной схемы питающего РП-10 кВ сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москва.

Применение схемы с одной системой сборных шин, секционированной выключателем, на питающем распределительном пункте напряжением 10 кВ для питания трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в многоэтажной жилой застройке Москвы обосновано с точки зрения технической эффективности, надёжности и экономической целесообразности.

Одношинная система с секционирующим выключателем позволяет оптимизировать компоновку распределительного пункта, снизить количество оборудования и упростить конструкцию.

Такая схема обеспечивает компактность и экономию пространства, что особенно важно в условиях ограниченного места в городской среде.

Выбранная для применения на питающем РП-10 кВ схема с одной системой сборных шин, секционированной выключателем, представлена в работе на рисунке 6.

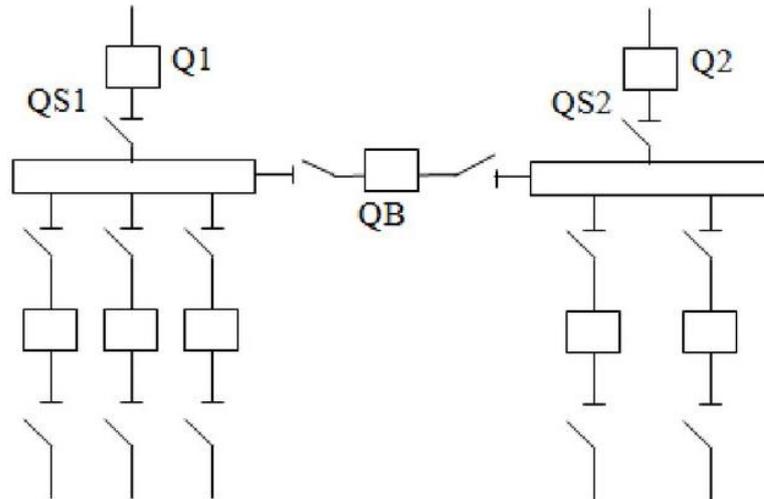


Рисунок 6 – Принцип компоновки схемы с одной системой сборных шин, секционированной выключателем

Секционирование системы сборных шин с помощью выключателя повышает надёжность электроснабжения потребителей. При возникновении аварийной ситуации или необходимости проведения ремонтных работ на одном из участков системы возможна изоляция повреждённого сектора без полного отключения электроэнергии для потребителей. Указанное условие достигается за счёт разделения сборных шин на секции, между которыми установлен секционный выключатель [15].

В нормальном режиме работы секционный выключатель находится в отключенном состоянии, обеспечивая раздельное питание всех потребителей. В случае аварии или необходимости обслуживания оборудования, секционный выключатель включается, что позволяет поддерживать уровень напряжения на секции шин, оставшейся без питания.

Использование трёх магистральных кабельных линий напряжением 10 кВ для питания трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ обеспечивает равномерное распределение нагрузок и снижение потерь мощности в сети. Такая конфигурация позволяет гибко управлять потоками мощности, перераспределять нагрузки между линиями в зависимости от текущих условий эксплуатации и оптимизировать режимы работы системы электроснабжения.

Три магистральные линии 10 кВ создают дополнительный уровень резервирования, повышая устойчивость системы к отказам и аварийным ситуациям.

С технической точки зрения, данная система с секционированием обеспечивает простоту управления и эксплуатации. Снижается количество коммутационных операций при переключениях, упрощается схема релейной защиты и автоматики, что повышает оперативность реагирования на нештатные ситуации. Кроме того, уменьшение количества элементов в схеме снижает вероятность отказов оборудования и упрощает диагностику и устранение неисправностей.

В условиях многоэтажной жилой застройки, где электроснабжение потребителей первой и второй категории надёжности является критически важным, такая схема обеспечивает высокий уровень надёжности и минимизирует время восстановления электроснабжения после аварий. Сокращение времени простоя электросети положительно сказывается на комфорте жителей и функционировании объектов социальной инфраструктуры, расположенных в жилом комплексе.

Экономическая целесообразность применения данной схемы подтверждается снижением капитальных и эксплуатационных затрат. Уменьшение количества оборудования, упрощение конструкции распределительного пункта и оптимизация кабельных линий приводят к сокращению инвестиций в строительство и снижению расходов на обслуживание и ремонт. Эффективное использование оборудования и материалов способствует повышению общей эффективности проекта и снижению себестоимости электроснабжения для конечных потребителей.

С учётом городских условий, где пространство для размещения энергетических объектов ограничено, компактность и простота одношинной системы с секционированием являются существенными преимуществами. Такая схема позволяет минимизировать занимаемую площадь распределительного пункта, что важно при интеграции энергетической

инфраструктуры в плотную городскую застройку, не нарушая эстетического облика района и соблюдая требования градостроительных норм.

Кроме того, применение данной схемы соответствует современным тенденциям развития энергетических систем, направленных на повышение надёжности, эффективности и устойчивости электроснабжения.

Использование современных технологий в коммутационном оборудовании, системах релейной защиты и автоматизации позволяет реализовать потенциал одношинной системы с секционированием, обеспечивая высокий уровень контроля и управления энергосистемой.

Таким образом, обоснование применения схемы с одной секционированной выключателем системой сборных шин на питающем распределительном пункте 10 кВ для питания трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки Москвы с использованием трёх магистральных кабельных линий на напряжении 10 кВ основывается на сочетании технических, экономических и эксплуатационных преимуществ.

Такая конфигурация обеспечивает надёжное и эффективное электроснабжение, соответствует требованиям современного городского строительства и способствует повышению качества жизни населения в новом жилом комплексе.

Выводы по разделу.

Обосновано применение схемы с одной секционированной выключателем системой сборных шин на питающем распределительном пункте 10 кВ, необходимом для питания десяти трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки Москвы по петлевой схеме электроснабжения с использованием трёх магистральных кабельных линий на напряжении 10 кВ.

3 Расчет электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки в городе Москве представляет собой один из ключевых этапов в процессе обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения данного района.

Учитывая динамичное развитие многоэтажной застройки, увеличение численности населения и расширение инфраструктуры, данная задача становится всё более актуальной, поскольку растёт потребление электроэнергии, а требования к стабильности и качеству энергоснабжения увеличиваются. Точный расчёт нагрузок позволяет предотвратить перегрузку сети, повысить энергоэффективность и обеспечить надёжное функционирование всей энергетической системы.

Необходимость проведения данного расчёта продиктована рядом факторов. В первую очередь, безопасность и комфорт проживания являются критически важными аспектами, так как стабильная работа электросети напрямую влияет на качество жизни населения, функциональность жилых зданий, работу учреждений образования, здравоохранения и коммерческих объектов. Избегание перегрузок и аварийных ситуаций позволяет обеспечить бесперебойное энергоснабжение всех потребителей. Корректный расчёт также способствует оптимизации затрат на создание и модернизацию энергетической инфраструктуры, избегая ненужных расходов на оборудование, не соответствующее требованиям по мощности.

Процесс расчёта электрических нагрузок проходит в несколько последовательных этапов. На первом этапе собирается информация о существующих и планируемых потребителях электроэнергии в многоэтажной жилой застройке.

Определение установленной мощности, режимов работы и графиков потребления для каждого объекта позволяет создать полное представление о

будущих энергетических потребностях жилого комплекса. В работе данные были собраны и проанализированы в рамках начальных разделов проекта.

Следующим шагом является непосредственный расчёт электрических нагрузок для отдельных потребителей. В системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки определено наличие 80 единиц потребителей.

Использование точных данных о нагрузках позволяет принять решения, направленные на улучшение работы системы электроснабжения, а также на оптимизацию энергетических процессов. Так, на основе результатов расчёта нагрузок возможно определить потребность в резервировании источников питания и принять меры по улучшению эффективности работы трансформаторов и распределительных устройств. Данный аспект обеспечивает высокий уровень качества и надёжности энергоснабжения, минимизирует вероятность простоев и аварийных ситуаций, что напрямую влияет на комфорт и безопасность жизни жителей микрорайона.

Расчёт нагрузок также играет важную роль в планировании строительства и модернизации энергетической инфраструктуры, поскольку точные данные позволяют более обоснованно подходить к выбору трансформаторов, распределительных устройств и кабельных линий. Такой выбор даёт возможность обеспечить достаточный запас мощности на случай увеличения потребления в будущем, при этом избегая избыточных затрат на установку ненужного оборудования.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки Москвы является важным и комплексным процессом, от которого зависит стабильность и надёжность электроснабжения как для отдельных жилых зданий, так и для всей инфраструктуры района.

Методика расчёта нагрузок должна учитывать специфику каждого объекта, включая его назначение и особенности эксплуатации. В работе применяется методика расчёта методом коэффициента спроса [11].

«Расчётная активная нагрузка потребителей системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки» [14]:

$$P_p = P_{\text{проект.}} \cdot K_c, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $P_{\text{проект.}}$ – проектная мощность потребителя системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки, кВт (таблица 1);
 K_c – «коэффициент спроса (принимается на стадии проектирования значение $K_c = 1$)» [14].

«Расчётная реактивная нагрузка» [14] потребителей системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

где « $\text{tg } \varphi$ – коэффициент реактивной мощности» [14].

«Расчётная полная нагрузка» [14] потребителей системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки:

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

«Расчётный ток нормального режима» потребителей системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки [14]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (4)$$

где S_{np} – полная мощность присоединения потребителя, кВА;

$U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение присоединения, кВ.

Расчёт нагрузок потребителей системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки проводится на примере первого потребителя (ВРУ-1-1.1 Жилая часть):

$$P_p = 275,3 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 275,3 \cdot 0,4 = 110,1 \text{ квар},$$

$$S_{np} = \sqrt{275,3^2 + 110,1^2} = 296,5 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{296,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 449,3 \text{ А}.$$

«Суммарная расчётная нагрузка секций сборных шин 0,38/0,22 кВ распределительных ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки» [14]:

$$P_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{np}, \quad (5)$$

$$Q_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{np}, \quad (6)$$

где « K_0 – коэффициент одновременности» [14];

$$\sum_{i=1}^n P_{np} \text{ – «суммарная активная нагрузка присоединений, кВт» [14];}$$

$$\sum_{i=1}^n Q_{np} \text{ – «суммарная реактивная нагрузка, квар» [14].}$$

«Значение полной расчётной нагрузки и расчётного тока секций сборных шин 0,38/0,22 кВ распределительных ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки» [14]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (7)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (8)$$

Далее проводится расчёт электрических нагрузок питающих магистралей М1, М2 и М3 напряжением 10 кВ. Полная нагрузка питающей магистрали М1 (ТП1-ТП2-ТП3-ТП4) равна сумме нагрузок ТП, которые получают от неё питание, с учётом коэффициента одновременности максимумов нагрузки, принятого в работе равному 0,9:

$$S_{м1} = (S_{ТП1} + S_{ТП2} + S_{ТП3} + S_{ТП4}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (9)$$

$$S_{м1} = (1079,64 + 964,68 + 1809,93 + 968,64) \cdot 0,9 = 4340,6 \text{ кВА}.$$

Аналогично для питающих магистралей М2 и М3 напряжением 10 кВ:

$$S_{м2} = (S_{ТП5} + S_{ТП6} + S_{ТП7}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (10)$$

$$S_{м2} = (737,69 + 3028,63 + 2957,33) \cdot 0,9 = 6052,25 \text{ кВА},$$

$$S_{м3} = (S_{ТП7} + S_{ТП8} + S_{ТП9}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (11)$$

$$S_{м3} = (2324,18 + 1834,28 + 2276,09) \cdot 0,9 = 5791,1 \text{ кВА}.$$

Полная нагрузка на шинах питающего РП-10 кВ равна суммарной нагрузке питающих магистралей М1-М3 с учётом коэффициента одновременности:

$$S_{РП} = (S_{м1} + S_{м2} + S_{м3}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (12)$$

$$S_{РП} = (4340,6 + 6052,25 + 5791,1) \cdot 0,9 = 16182,99 \text{ кВА}.$$

Итоговые результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Итоговые результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки

Номер по плану	Наименование объекта	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
ТП-1					
1.1	ВРУ-1-1.1 Жилая часть	275,30	110,12	296,51	449,25
1.1	ВРУ-3-1.1 БКФН	52,80	21,12	56,87	86,16
1.2	ВРУ-2-1.2 Жилая часть	273,20	109,28	294,25	445,83
1.2	ВРУ-4-1.2 БКФН	61,40	24,56	66,13	100,20
1.2	ВРУ-5-1.2 Паркинг	159,10	63,64	171,36	259,63
7 (ДОО)	ВРУ-ДОО	292,00	116,80	314,49	476,51
Итого на шинах ТП-1 ($K_o = 0,9$)		1002,42	400,97	1079,64	1635,82
ТП-2					
2.1	ВРУ-1-2.1 Жилая часть	275,40	110,16	296,61	449,42
2.1	ВРУ-3-2.1 БКФН	115,70	46,28	124,61	188,81
2.2	ВРУ-2-2.2 Жилая часть	303,20	121,28	326,56	494,78
2.2	ВРУ-4-2.2 БКФН	101,40	40,56	109,21	165,47
2.2	ВРУ-5-2.2 Паркинг	149,50	59,80	161,02	243,96
БРП НО-2	ВРУ БРП НО-2	50,00	20,00	53,85	81,59
Итого на шинах ТП-2 ($K_o = 0,9$)		895,68	358,27	964,68	1461,63
ТП-3					
1.3	ВРУ-1.3 Жилая часть	279,70	111,88	301,25	456,43
1.3	ВРУ-2.3 БКФН	100,50	40,20	108,24	164,00
П1	ВРУ-3.3 Паркинг на 169 м/мест	65,20	26,08	70,22	106,40
1.4	ВРУ-1.4 Жилая часть	219,00	87,60	235,87	357,38
1.4	ВРУ-2.4 Жилая часть	267,30	106,92	287,89	436,20
1.4	ВРУ-3.4 БКФН	116,20	46,48	125,15	189,62
1.5	ВРУ-1.5 Жилая часть	1,00	0,40	1,08	1,63
1.5	ВРУ-2.5 БКФН	133,80	53,52	144,11	218,34
1.6	ВРУ-1.6 Жилая часть	219,30	87,72	236,19	357,87
1.6	ВРУ-2.6 Жилая часть	267,20	106,88	287,78	436,04
1.6	ВРУ-3.6 БКФН	148,00	59,20	159,40	241,52
БРП НО-1	ВРУ БРП НО-1	50,00	20,00	53,85	81,59
Итого на шинах ТП-3 ($K_o = 0,9$)		1680,48	672,19	1809,93	2742,32
ТП-4					
13.1	ВРУ-1.1 Офисы	289,10	115,64	311,37	471,77
13.1	ВРУ-1.2 Апартаменты	330,08	132,03	355,51	538,65
13.2	ВРУ-2.1 Офисы	149,30	59,72	160,80	243,64
13.2	ВРУ-2.2 Апартаменты	193,01	77,20	207,88	314,97
П1	ВРУ-3.1 Паркинг на 90 м/мест	37,80	15,12	40,71	61,68
Итого на шинах ТП-4 ($K_o = 0,9$)		899,36	359,74	968,64	1467,64
Итого по магистрали М1		4030,15	1612,06	4340,60	-
ТП-5					
12.1	ВРУ-1.1 Офисы	175,30	70,12	188,80	286,07
12.1	ВРУ-1.2 Апартаменты	171,38	68,55	184,58	279,67
12.2	ВРУ-2.1 Офисы	127,70	51,08	137,54	208,39
12.2	ВРУ-2.2 Апартаменты	286,65	114,66	308,73	467,77

Продолжение таблицы 2

Номер по плану	Наименование объекта	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Итого на шинах ТП-5 ($K_o = 0,9$)		684,93	273,97	737,69	1117,71
ТП-6					
12.3	ВРУ-3.2 Торговый центр	2814,75	1125,90	3031,58	4593,30
П2	ВРУ-4.2 Паркинг на 307 м/мест	96,71	38,68	104,16	157,82
ДОС 150	ДОО на 150 мест	213,00	85,20	229,41	347,59
Итого на шинах ТП-6 ($K_o = 0,9$)		2812,01	1124,81	3028,63	4588,84
ТП-7					
2.3	ВРУ-1 Жилая часть	319,60	127,84	344,22	521,55
2.3	ВРУ-2 БКФН	98,20	39,28	105,76	160,25
2.3	ВРУ-3 а/с	83,80	33,52	90,26	136,75
2.4	ВРУ-1.1 Жилая часть	267,00	106,80	287,57	435,71
2.4	ВРУ-1.2 Жилая часть	125,20	50,08	134,84	204,31
2.4	ВРУ-2 БКФН	283,10	113,24	304,91	461,98
2.4	ВРУ-2 Жилая часть	121,90	48,76	131,29	198,92
2.5	ВРУ-1 Паркинг	143,80	57,52	154,88	234,66
2.5	ВРУ-2 БКФН	283,10	113,24	304,91	461,98
2.6	ВРУ-1.1 Жилая часть	329,00	131,60	354,34	536,88
2.6	ВРУ-1.2 Жилая часть	314,20	125,68	338,40	512,73
2.6	ВРУ-2 БКФН	172,00	68,80	185,25	280,68
СОШ 1100 мест	ВРУ-1	309,00	123,60	332,80	504,25
СОШ 1100 мест	ВРУ-2	201,00	80,40	216,48	328,01
Итого на шинах ТП-7		2745,81	1098,32	2957,33	4480,80
Итого по магистрали М2		5619,38	2247,75	6052,25	-
ТП-8					
3.1	ВРУ-1.1 Жилая часть	298,06	119,22	321,02	486,39
3.1	ВРУ-2.1 БКФН	210,00	84,00	226,18	342,69
3.2	ВРУ-1.2 Жилая часть	273,37	109,35	294,43	446,10
3.2	ВРУ-2.2 Жилая часть	266,22	106,49	286,73	434,44
3.2	ВРУ-3,2 БКФН	162,60	65,04	175,13	265,34
П1	ВРУ-4.2 Паркинг на 265 м/мест	92,75	37,10	99,89	151,36
3.3	ВРУ-1.3 Жилая часть	298,06	119,22	321,02	486,39
3.3	ВРУ-2.3 БКФН	106,00	42,40	114,17	172,98
3.4	ВРУ-1.4 Жилая часть	273,37	109,35	294,43	446,10
3.4	ВРУ-2.4 Жилая часть	267,29	106,92	287,88	436,18
3.4	ВРУ-3.4 БКФН	150,00	60,00	161,55	244,78
Итого на шинах ТП-8		2157,95	863,18	2324,18	3521,49
ТП-9					
4.1	ВРУ-1.1 Жилая часть	273,37	109,35	294,43	446,10
4.1	ВРУ-2.1 Жилая часть	266,22	106,49	286,73	434,44
4.1	ВРУ-3.1 БКФН	150,00	60,00	161,55	244,78
4.6	ВРУ-1.6 Жилая часть	300,22	120,09	323,35	489,92

Продолжение таблицы 2

Номер по плану	Наименование объекта	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
П1	ВРУ-4.1 Паркинг на 113 м/мест	43,51	17,40	46,86	71,00
4.6	ВРУ-2,6 БКФН	106,00	42,40	114,17	172,98
ДОО 350 мест	ДОО 350 мест	348,00	139,20	374,81	567,89
СОШ 550 мест	СОШ 550 мест	405,00	162,00	436,20	660,91
Итого на шинах ТП-9		1703,09	681,24	1834,28	2779,22
ТП-10					
4.2	ВРУ-1.2 Жилая часть	298,06	119,22	321,02	486,39
4.2	ВРУ-2.2 БКФН	106,00	42,40	114,17	172,98
4.3	ВРУ-1.3 Жилая часть	273,37	109,35	294,43	446,10
4.3	ВРУ-2.3 Жилая часть	269,44	107,78	290,20	439,69
4.3	ВРУ-3В БКФН	181,40	72,56	195,37	296,02
4.4	ВРУ-Жилая часть	298,06	119,22	321,02	486,39
4.4	ВРУ-2.4 БКФН	106,00	42,40	114,17	172,98
П2	ВРУ-3.4 Паркинг на 235 м/мест	82,25	32,90	88,59	134,22
4.5	ВРУ-1.5 Жилая часть	213,31	85,32	229,74	348,09
4.5	ВРУ-2,5 Жилая часть	266,22	106,49	286,73	434,44
4.5	ВРУ-3.5 БКФН	254,00	101,60	273,57	414,49
Итого на шинах ТП-10		2113,30	845,32	2276,09	3448,63
Итого по магистрали М3		5376,91	2150,76	5791,10	-
Итого по многоэтажной жилой застройке (нагрузка питающего РП-10 кВ, $K_o = 0,9$)		15025,53	6010,21	16182,99	-

Выполненные расчёты создают основу для принятия решений в области развития системы электроснабжения, повышают её энергоэффективность и устойчивость, что особенно важно в условиях интенсивного урбанистического развития современного города.

Выводы по разделу.

В результате проведения расчёта, на данном этапе получены значения расчётных нагрузок следующих объектов и сетей многоэтажной жилой застройки г. Москва:

- отдельных линий для питания потребителей на напряжении 0,4 кВ;
- линий для питания ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки (ТП1-ТП10);
- питающих магистралей М1-М3 напряжением 10 кВ;
- питающего РП-10 кВ.

4 Выбор и проверка силовых трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ

Ранее в работе было определено, что для питания 80 потребителей многоэтажной жилой застройки применяется 10 ТП-10/0,4 кВ. Рассчитаны значения нагрузки всех ТП-10/0,4 кВ.

Таким образом, в работе необходимо выбрать и проверить мощности трансформаторов на ТП1-ТП10.

Установлено, что из на всех ТП-10/0,4 кВ необходимо применять по два силовых трансформатора, так как большинство объектов проектируемой системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москва относятся ко 2 категории надёжности.

В случае аварийного отключения одного из трансформаторов, нагрузка потребителей 2-й категории надёжности переводится на оставшийся в работе трансформатор. Таким образом, в схеме применяется необходимый и достаточный уровень резервирования.

«Выбор мощности трансформаторов проводится по его нагрузке в нормальном режиме» [6]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{р.ТП}}{K_3 \cdot N}, кВА, \quad (13)$$

где « K_3 – номинальный коэффициент загрузки трансформатора;

N – количество трансформаторов» [6].

Расчет мощности трансформатора для ТП1 многоэтажной жилой застройки:

$$S_{ном.т} \geq \frac{1079,64}{2 \cdot 0,8} = 674,78 кВА.$$

Предварительно принимаются к установке на ТП1 многоэтажной жилой застройки два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 [16].

Проверка загрузки трансформатора в нормальном режиме (в работе – оба трансформатора, $N_n=2$) [7]:

$$K_{з.н} = \frac{S_p}{N_n \cdot S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (14)$$

Условия данной проверки для ТП1 многоэтажной жилой застройки выполняются:

$$K_{з.н} = \frac{1079,64}{2 \cdot 1000} \approx 0,54 \leq 0,8.$$

Проверка загрузки трансформатора в послеаварийном режиме (в работе – один трансформатор, $N_a=1$) [7]:

$$K_{з.а} = \frac{S_p}{N_n \cdot S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (15)$$

Условия данной проверки для ТП1 многоэтажной жилой застройки выполняются [7]:

$$K_{з.а} = \frac{1075}{1000} \approx 1,08 \leq 1,6.$$

Таким образом, для установки на ТП1 многоэтажной жилой застройки окончательно принимаются два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 [16]. Результаты выбора и проверки числа и мощности силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах с целью

установки на ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки г. Москва представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора и проверки числа и мощности силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах с целью установки на ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки г. Москва

№ ТП	N, шт.	$S_{р.ТП}$, кВА	$S_{ном.т}$, кВА	$K_{з.н}$	$K_{з.а}$	Марка трансформатора
ТП-1	2	1079,64	1000	0,54	1,08	ТМГ-1000/10
ТП-2	2	964,68	630	0,76	1,52	ТМГ-630/10
ТП-3	2	1809,93	1250	0,72	1,44	ТМГ-1250/10
ТП-4	2	968,64	630	0,77	1,54	ТМГ-630/10
ТП-5	2	737,69	630	0,59	1,18	ТМГ-630/10
ТП-6	2	3028,63	2000	0,76	1,52	ТМГ-2000/10
ТП-7	2	2957,33	2000	0,74	1,48	ТМГ-2000/10
ТП-8	2	2324,18	1600	0,73	1,46	ТМГ-1600/10
ТП-9	2	1834,28	1250	0,73	1,46	ТМГ-1250/10
ТП-10	2	2276,09	1600	0,71	1,42	ТМГ-1600/10

Таким образом, выбраны и проверены мощности силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ.

Выводы по разделу.

В результате выбора и проверки мощности силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки г. Москва, получены следующие результаты:

- на ТП-1 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10;
- на ТП-2, ТП-4 и ТП-5 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-630/10;
- на ТП-3 и ТП-9 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1250/10;
- на ТП-8 и ТП-10 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1600/10;
- на ТП-6 и ТП-7 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10.

5 Расчет токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки является важнейшим этапом, который необходимо учитывать при проектировании системы электроснабжения данного объекта. Проведение данного расчёта продиктовано необходимостью обеспечения надёжности, безопасности и высокой эффективности работы энергосистемы.

Точные значения токов короткого замыкания служат основой для правильного выбора и настройки аппаратов защиты и коммутации. Без точного расчёта невозможно настроить релейную защиту, выбрать и проверить высоковольтные выключатели, предохранители и автоматические воздушные выключатели таким образом, чтобы они могли своевременно и эффективно отключить аварийный участок сети. Известно, что неправильно настроенные защитные устройства создают риск несрабатывания в аварийной ситуации, что приводит к серьёзным повреждениям оборудования, длительным перебоям в электроснабжении и потенциальным угрозам безопасности людей.

Селективность системы релейной защиты (РЗ) также напрямую зависит от расчёта токов короткого замыкания. Обеспечение селективности РЗ позволяет отключать только повреждённый участок сети, сохраняя электроснабжение остальных потребителей. Данный аспект особенно актуален для многоэтажной жилой застройки Москвы, где нарушение электроснабжения может привести к сбоям в работе социально значимых объектов, таких как школы, детские сады и другие учреждения. Поэтому корректный расчёт токов короткого замыкания способствует обеспечению бесперебойной подачи электроэнергии к таким объектам, минимизируя риск негативных последствий для жителей района.

Кроме того, расчёт токов короткого замыкания важен для оценки термических и электродинамических нагрузок на элементы сети. Кабельные

линии, трансформаторы и прочие компоненты должны выдерживать воздействия, возникающие в аварийных режимах работы, чтобы сохранить целостность и долговечность системы. Правильный выбор сечений проводников и материалов на основе расчётов позволяет избежать преждевременного износа и аварий, что значительно повышает эксплуатационную надёжность системы.

Рост энергопотребления и усложнение конфигурации сетей многоэтажной жилой застройки Москвы делает проведение расчёта токов короткого замыкания особенно актуальным. Подключение новых потребителей, систематическое увеличение нагрузок приводят к изменению параметров сети, что требует актуализации расчётов для обеспечения правильной работы существующих защитных устройств. Отсутствие своевременных расчётов может привести к тому, что оборудование окажется неготовым к новым условиям эксплуатации, что создаст угрозу как для надёжности энергоснабжения, так и для безопасности людей.

Таким образом, проведение расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки является важной частью обеспечения её безопасной и надёжной эксплуатации. Данный расчёт позволяет не только предотвратить аварии и обеспечить качественное электроснабжение, но и способствует выполнению требований энергоэффективности и устойчивого развития городской энергетической инфраструктуры.

В результате расчётов планируется определить максимальные значения симметричных токов короткого замыкания в трёхфазном режиме для сети 10 кВ и 0,4 кВ, а также рассчитать ударные токи, используя рекомендуемые ударные коэффициенты. Полученные результаты обеспечат надёжный выбор оборудования и оптимальные параметры настройки защитных устройств, что создаст основу для стабильной и эффективной работы энергосистемы многоэтажной жилой застройки.

На первом этапе необходимо составить расчётную схему электрической сети для расчёта токов КЗ. На ней определяются основные расчётные точки КЗ, в которых требуется провести расчёт максимального тока КЗ в послеаварийном режиме (питание ТП-10/0,4 кВ при этом будет осуществляться по одной линии 10 кВ от РП-10 кВ). В качестве ТП-10/0,4 кВ рассматривается ТП1 с трансформатором мощностью 1000 кВА.

Схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки приведена в работе на рисунке 7.

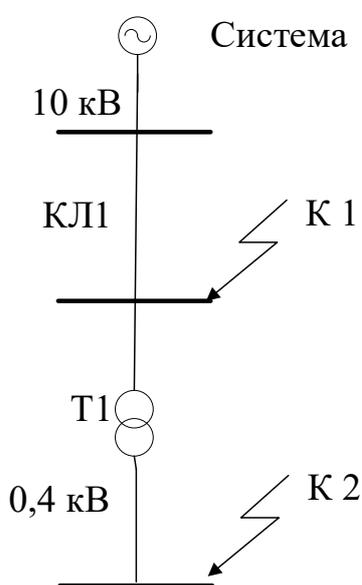


Рисунок 7 – Схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки

Эквивалентная схема замещения для расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки представляет собой упрощённое изображение электрической сети, на котором учтены основные элементы сети и их параметры. Такая схема используется для определения значений токов КЗ в различных точках сети. Эквивалентная схема помогает аналитически или численно рассчитать параметры аварийных режимов работы. Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки представлена на рисунке 8.

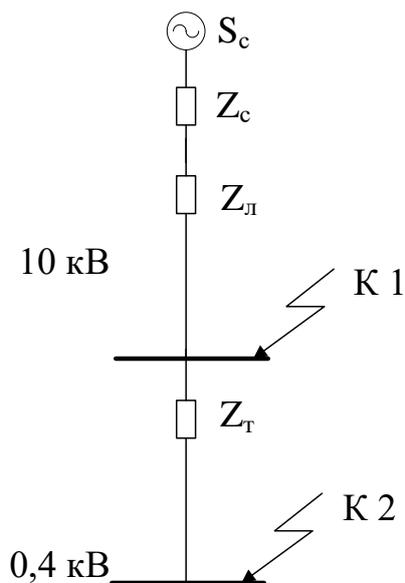


Рисунок 8 – Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки

Рассчитываются параметры схемы замещения.

«Базисные условия» [13]:

$$\begin{aligned}
 S_{\bar{o}} &= S_c = 1000 \text{ MVA}, \\
 U_{\bar{o}} &= 10,5 \text{ кВ}, \\
 I_{\bar{o}} &= \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}}, \text{ кА},
 \end{aligned} \tag{16}$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}.$$

«Сопротивления энергосистемы» [13]:

$$x_c = \frac{S_{\bar{o}}}{S_c}, \tag{17}$$

$$x_c = \frac{1000}{1000} = 1,$$

Учитывая отношение $x_c/r_c=50$ (по данным энергосистемы):

$$r_c = \frac{x_c}{50}, \quad (18)$$

$$r_c = \frac{1}{50} = 0,02.$$

«Сопротивления питающей кабельной линии 10 кВ» [13]:

$$x_n = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \quad (19)$$

$$x_n = 0,08 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,45,$$

$$r_n = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \quad (20)$$

$$r_n = 0,043 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 8,04.$$

«Активное сопротивление трансформатора Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки» [13]:

$$r_m = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_n^2}{S_{\text{ном.т.}}^2}, \quad (21)$$

где ΔP_{κ} - потери короткого замыкания силового трансформатора Т1

(ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки (справочные данные), кВт;

$S_{\text{ном.т.}}$ - номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, принятого для установки на Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки, кВА.

$$r_m = \frac{20000 \cdot 10^2}{1000^2} = 2.$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора» [13]:

$$x_m = \frac{U_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}, \quad (22)$$

где U_k - напряжение короткого замыкания силового трансформатора Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки (справочные данные), %.

$$x_m = \frac{6,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1000^2} = 0,065.$$

«Суммарное полное сопротивление трансформатора» [13]:

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}, \quad (23)$$
$$Z_m = \sqrt{2^2 + 0,065^2} \approx 2,00.$$

«Суммарные сопротивления к точке К1» [13]:

$$x_\Sigma = x_c + x_l, \quad (24)$$

$$x_\Sigma = 1 + 1,45 = 2,45,$$

$$r_\Sigma = r_c + r_l, \quad (25)$$

$$r_\Sigma = 0,02 + 8,04 = 8,06,$$

$$z = \sqrt{x_\Sigma^2 - r_\Sigma^2}, \quad (26)$$

$$z = \sqrt{2,45^2 - 8,06^2} = 8,42.$$

«Ток КЗ в точке К1» [13]:

$$I_{II1}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}}}{z}, \text{кА}, \quad (27)$$

$$I_{II1}^{(3)} = \frac{55}{8,42} = 6,5 \text{кА}.$$

«Ударный ток КЗ в точке К1» [13]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot I_{II1}^{(3)} \cdot K_y, \text{кА}, \quad (28)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [13].

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot 6,5 \cdot 1 = 9,2 \text{кА}.$$

«Суммарные сопротивления к точке К2» [13]:

$$x_{\Sigma} = x_c + x_l + x_m, \quad (29)$$

$$x_{\Sigma} = 1 + 1,45 + 0,065 \approx 2,52,$$

$$r_{\Sigma} = r_c + r_l + r_m, \quad (30)$$

$$r_{\Sigma} = 0,02 + 8,04 + 2 = 10,06,$$

$$z = \sqrt{x_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma}^2}, \quad (31)$$

$$z = \sqrt{2,52^2 + 10,06^2} = 10,37.$$

«Ток КЗ в точке К2» [13]:

$$I_{II2}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}}}{z}, \text{кА}, \quad (32)$$

$$I_{II2}^{(3)} = \frac{55}{10,37} = 5,3 \text{кА}.$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [13]:

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot I_{Pi}^{(3)} \cdot K_y, \text{кА}, \quad (33)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [13].

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot 5,3 \cdot 1 = 7,5 \text{кА}.$$

Результаты расчётов токов КЗ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов токов КЗ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки

Параметр	Числовое значение параметра, кА	
	Точка К1 (сеть 10 кВ)	Точка К2 (сеть 0,38/0,22 кВ)
$I_{Pi}^{(3)}$	6,5	5,3
$i_{y\partial.K}$	9,2	7,5

Полученные результаты токов КЗ будут использованы в работе далее.

Выводы по разделу.

В результате проведённого расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки города Москвы установлено, что в электрической сети напряжением 10 кВ значение трёхфазного тока короткого замыкания в максимальном режиме составляет 6,5 кА, а ударный ток трёхфазного короткого замыкания достигает 9,2 кА.

В сети низкого напряжения аналогичные расчёты показали, что значение трёхфазного тока короткого замыкания составляет 5,3 кА, а ударный ток достигает значения 7,5 кА.

Полученные результаты позволяют оценить параметры аварийных режимов и подобрать соответствующее оборудование для защиты сети от повреждений, а также обеспечить её надёжное и безопасное функционирование.

6 Выбор сечения кабельных линий

Ранее в работе было установлено, что электрическая сеть из десяти ТП-10/0,4 кВ, получающих питание от РП-10 кВ тремя магистральными кабельными линиями М1, М2 и М3.

Первая магистраль М1 питает сеть подстанций ТП-10/0,4 кВ: ТП1-ТП2-ТП3-ТП4. От второй магистрали М2 получают питание сеть подстанций ТП-10/0,4 кВ: ТП7-ТП6-ТП5. Третья магистраль М1 питает сеть подстанций ТП-10/0,4 кВ: ТП9-ТП8-ТП10. Кроме того, питающий РП-10 кВ многоэтажной жилой застройки получает питание от подстанции 110/10 кВ «Очаково». Все перечисленные кабели составляют питающую и распределительную сеть 10 кВ многоэтажной жилой застройки.

Для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ предлагается использовать современные кабели марки кабельные линии с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвПуг (изготовитель – ООО «Камский Кабель») [2].

При этом, необходимо учесть схему электроснабжения многоэтажной жилой застройки на напряжении 10 кВ, которая будет влиять на результаты расчёта и выбора кабелей. Принятая ранее петлевая схема электроснабжения многоэтажной жилой застройки представляет собой эффективное и надёжное решение для обеспечения стабильного энергоснабжения в условиях городской застройки с высокой плотностью потребителей.

Данная схема предусматривает кольцевое соединение распределительных сетей, что позволяет подводить электроэнергию к потребителям по замкнутому контуру. Указанный аспект обеспечивает ряд существенных преимуществ в сравнении с радиальными схемами электроснабжения. Одной из ключевых особенностей петлевой схемы является повышенная надёжность электроснабжения. Благодаря возможности передачи электроэнергии с двух сторон кольца, при возникновении аварийной ситуации на одном из участков сети потребители продолжают получать

электроэнергию по альтернативному пути от второго источника питания. Наличие данного фактора минимизирует время простоя и снижает риск полного обесточивания потребителей, что особенно важно для критически важных объектов инфраструктуры, таких как школы и детские сады, расположенные в пределах многоэтажной жилой застройки.

Для магистральной петлевой схемы, используемой в работе, на всех её участках сечение должно быть одинаковым [4].

Проводится выбор питающей кабельной линии 10 кВ, обеспечивающей питание РП-10 кВ многоэтажной жилой застройки от подстанции 110/10 кВ «Очаково», «по экономической плотности тока» [19]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (34)$$

где I_p - «значение расчётного тока кабельной линии в нормальном режиме на стороне 10 кВ» [14];

« j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [12].

Значение расчётного тока кабельной линии в нормальном режиме на стороне 10 кВ РП-10 кВ принимается равным:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (35)$$

где S_p - «расчётная нагрузка линии, кВА» [19].

Для питающего кабеля 10 кВ с учётом того, что на каждую секцию сборных шин РП-10 кВ приходится половина расчётной нагрузки:

$$I_p = \frac{16182,99 / 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 467,7 \text{ А.}$$

Сечение питающего кабеля 10 кВ для питания РП-10 кВ:

$$F_9 = \frac{467,7}{1,6} = 292,3 \text{ мм}^2.$$

Для питания РП-10 кВ от шин энергосистемы на напряжении 10 кВ предварительно принимается два силовых кабеля марки АПвПуг 3×300/25 [2].

«Проверка выбранного сечения кабеля в нормальном режиме» [10]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (36)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток кабельной линии (справочные данные, зависящие от марки кабеля и сечения его жил, а также от типа изоляции, А [12].

Для питающего кабеля РП-10 кВ проверка выполнена:

$$680 \text{ А} \geq 467,7 \text{ А}.$$

«Проверка КЛ-10 кВ в послеаварийном режиме работы» [19]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.m}, \quad (37)$$

где « $I_{p.m}$ – максимальный ток, А» [10].

Ток КЛ-10 кВ в послеаварийном режиме:

$$I_{p.\text{max}} = K_p \cdot I_p, \quad (38)$$

где K_p – коэффициент резервирования (с учётом существующего резервирования для потребителей 2 категории надёжности, принимается значение $K_p = 1,4$) [14].

Для питающего кабеля РП-10 кВ проверка выполнена:

$$680 \text{ A} \geq 467,7 \cdot 1,4 = 654,7 \text{ A}.$$

«Проверка кабеля по механическим условиям» [12]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (39)$$

Для питающего кабеля РП-10 кВ проверка выполнена:

$$300 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, применение силовых кабелей марки АПвПуг 3×300/25 для питания РП-10 кВ системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки на напряжении 10 кВ, обосновано.

Выбор остальных кабельных линий напряжением 10 кВ системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки проведён аналогично с приведением полученных результатов в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий сети 10 кВ многоэтажной жилой застройки

Наименование линии 10 кВ	S_p , кВА	Число кабелей, шт.	I_p , А	$I_{p,м}$, А	Марка и сечение кабеля	$I_{доп}$, А
ПС-110/10 кВ – РП-10 кВ	8091,5	2	467,7	654,7	АПвПуг 3×300/25	680
Магистраль М1, 10 кВ	4340,60	2	250,9	351,3	АПвПуг 3×150/25	440
Магистраль М2, 10 кВ	6052,25	2	349,8	489,8	АПвПуг 3×185/25	505
Магистраль М3, 10 кВ	5791,10	2	334,7	468,6	АПвПуг 3×185/25	505

Таким образом, по результатам выбора проводников для сетей наружного электроснабжения напряжением 10 кВ были определены

оптимальные варианты кабелей для питания распределительного пункта РП-10 кВ от подстанции ПС-110/10 кВ «Очаково». В качестве силовых кабелей выбраны и подтверждены два кабеля марки АПвПуг 3×300/25. Для питания трёх магистралей от шин распределительного пункта были обоснованы разные сечения кабелей. Для магистрали М1 выбрано применение кабеля марки АПвПуг 3×150/25, тогда как для магистралей М2 и М3 выбраны кабели марки АПвПуг 3×185/25.

Использование кабелей с различными сечениями обусловлено необходимостью обеспечить равномерное распределение нагрузки по сетям с учётом топологии системы.

Выбор петлевой схемы электроснабжения был также детально обоснован в данной работе. Петлевая схема позволяет создать замкнутую конфигурацию сети, которая обеспечивает резервирование питания и повышает устойчивость к отказам. В случае аварии на одной из линий питание может быть перенаправлено через альтернативный маршрут, что минимизирует время отключения потребителей. Выбор кабелей с соответствующими характеристиками и использование петлевой схемы позволяют не только обеспечить высокую надёжность и гибкость сети, но и оптимизировать затраты на эксплуатацию [11], снижая вероятность перегрузок и аварийных ситуаций.

Выводы по разделу.

В результате проведения выбора проводников сетей наружного электроснабжения 10 кВ, для питания РП-10 кВ от ПС-110/410 кВ «Очаково» выбраны и подтверждены два силовых кабеля марки АПвПуг 3×300/25, а для питания трёх магистралей 10 кВ от шин РП-10 кВ обосновано применение кабелей марок АПвПуг 3×150/25 (магистраль М1), а также АПвПуг 3×185/25 (магистрали М2 и М3) с использованием петлевой схемы, выбор которой детально обоснован в работе.

7 Выбор электрических аппаратов и системы учёта и контроля электроэнергии

7.1 Выбор электрических аппаратов сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки

В работе далее проводится выбор электрических аппаратов сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки.

Правильный выбор электрических аппаратов на напряжение 10 кВ является важнейшим аспектом проектирования системы электроснабжения. Определение их основных параметров, таких как номинальное напряжение, номинальный ток, допустимая нагрузка, способность выдерживать токи короткого замыкания и условия эксплуатации, является основой для эффективного функционирования системы. Все выбранные аппараты должны строго соответствовать требованиям системы и характеристикам подключаемых нагрузок, что гарантирует их надёжную работу в условиях реальной эксплуатации.

Процедура выбора и проверки электрических аппаратов включает в себя несколько критически важных этапов. Необходимо тщательно проверить соответствие выбранных устройств нормативным требованиям и условиям эксплуатации. Данное требование включает анализ их устойчивости к перегрузкам, способность эффективно отключать токи короткого замыкания, а также оценку их совместимости с другими элементами системы электроснабжения. Особое внимание уделяется также оценке надёжности и долговечности оборудования в реальных условиях эксплуатации.

В городской среде, особенно в условиях многоэтажной жилой застройки, где нагрузка на энергосистему может быть неравномерной и требовать высокой адаптивности, проверка на устойчивость к различным режимам эксплуатации становится ещё более значимой.

Выбор аппаратов должен учитывать не только технические характеристики, но и возможность дальнейшей интеграции оборудования в систему автоматического управления и мониторинга, что особенно важно для повышения гибкости и адаптивности системы электроснабжения, позволяя оперативно реагировать на изменения в режиме работы и быстро устранять аварийные ситуации. В современных системах электроснабжения применяются устройства с функциями самодиагностики, что даёт возможность снизить время на диагностику неисправностей и минимизировать риски длительных отключений.

Кроме того, необходимо учитывать специфические условия эксплуатации в жилой застройке, такие как температурные колебания, влажность, воздействие вибраций и необходимость обеспечения минимального уровня шума. Данный выбор требует выбора аппаратов, способных сохранять свои эксплуатационные характеристики в подобных условиях, что способствует повышению их долговечности и снижению эксплуатационных затрат.

Таким образом, выбор и проверка электрических аппаратов на напряжение 10 кВ в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки являются ключевыми процессами, напрямую влияющими на надёжность, безопасность и эффективность энергосистемы. Проведение всех указанных этапов обеспечивает соответствие системы требованиям и стандартам, что гарантирует её стабильную и безопасную эксплуатацию, а также создаёт основу для повышения энергоэффективности и устойчивого развития городской инфраструктуры [17].

Исходя из принятой ранее схемы питающей сети 10 кВ системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки, в работе требуется выбрать и провести проверку следующих типов электрических аппаратов:

- для установки в ячейках питающего РП-10 кВ: выключатели высокого напряжения, трансформаторы тока и ограничители перенапряжения;

- для установки на всех ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки и плавкие предохранители.

Выбор и проверка всех электрических аппаратов в работе проводится в табличной форме, сравнивая расчётные параметры сети и паспортные данные электрических аппаратов.

Известно, что максимальный расчётный ток КЗ – трёхфазный, поэтому проверка принятых решений по выбору оборудования проводится по его значению.

Выбор аппаратов 10 кВ проводится по источникам (каталогам) [9], [18].

Результаты выбора выключателей 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки в ячейках питающего РП-10 кВ многоэтажной жилой застройки представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора выключателей 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки в ячейках питающего РП-10 кВ (на примере вводного выключателя РП-10 кВ)

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели марки ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 654,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 6,5 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 = 126,75 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 52^2 \cdot 3 = 8112 \text{ кА}^2\text{с}$

Трансформаторы тока на распределительных пунктах (РП) напряжением 10 кВ играют ключевую роль в обеспечении эффективного и безопасного функционирования системы электроснабжения.

Роль трансформаторов тока заключается в трансформации высоких токов первичной цепи в более низкие значения, удобные для безопасного использования измерительными приборами и устройствами релейной защиты и автоматики.

Результаты выбора трансформаторов тока 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки в ячейках питающего РП-10 кВ представлены в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты выбора трансформаторов тока 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки в ячейках питающего РП-10 кВ

Тип ТТ	Кол-во ТТ на каждое присоединение, шт.	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ТОЛ-СЭЦ-10	2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{60,0}{\leq 60,0}$

Ограничители перенапряжения (ОПН) на питающем распределительном пункте (РП) 10 кВ играют ключевую роль в защите электрической системы от воздействий перенапряжений, возникающих вследствие атмосферных разрядов и коммутационных процессов. Данный элемент защиты обеспечивает стабильную и безопасную работу оборудования, снижает риск выхода из строя изоляции и продлевает срок службы электротехнического оборудования.

Результаты выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ для установки в ячейках питающего РП-10 кВ многоэтажной жилой застройки представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Ограничители перенапряжения марки ОПН-П-10/12,7/10/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 654,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 = 126,75 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 48000 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Далее выбираются аппараты для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки и плавкие предохранители.

Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП1) представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ (для ТП1)

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 80,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 =$ $= 126,75 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП1) представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ СЭС многоэтажной жилой застройки для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП1)

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Предохранители марки ПКТ-101-10-100-20 У1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$1,1 - 1,5 I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5 I_{ном.т} = 1,5 \times$ $\times 57,8 = 86,7 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 100 \text{ А}$
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 100 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 =$ $= 126,75 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Таким образом, для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки, выбраны и проверены следующие электрические аппараты:

- для установки в ячейках питающего РП-10 кВ: вакуумные выключатели высокого напряжения марки ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ, трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10, ограничители перенапряжения марки ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1;
- для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10-100-20 У1.

Все выбранные электрические аппараты проверены на соответствие параметрам установки в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москва.

Все выбранные аппараты напряжением 10 кВ сетей наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки показаны также в графической части работы.

7.2 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки

Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки является важнейшим аспектом, направленным на обеспечение эффективного управления потреблением электроэнергии и оптимизацию работы энергосистемы.

Тщательный выбор системы учёта позволяет осуществлять точное измерение потребляемой энергии, обеспечивать её контроль в реальном времени, а также своевременно выявлять любые отклонения и нештатные ситуации в системе.

Такая система должна соответствовать современным требованиям к качеству энергоснабжения, надёжности и энергоэффективности, а также обеспечивать возможность интеграции в автоматизированные системы управления энергоснабжением.

Для многоэтажной жилой застройки, где существует множество потребителей с различными режимами потребления энергии, необходимо

использовать систему учёта, которая способна фиксировать индивидуальное потребление для каждого потребителя. Данный фактор позволяет не только точно определять долю потребляемой энергии для каждого объекта, но и предоставлять жильцам возможность более ответственно подходить к использованию энергетических ресурсов, что стимулирует энергосбережение. В условиях роста тарифов и усиления требований по энергоэффективности такой подход приобретает особую актуальность [1].

Современные системы учёта электроэнергии должны обеспечивать не только измерение потребляемой энергии, но и контроль над качественными показателями электроэнергии, такими как отклонения напряжения и частоты, гармонические искажения и асимметрия. Соблюдение норм указанных параметров особенно важно для жилых районов с высокой плотностью застройки, где возникают колебания нагрузки в зависимости от времени суток и внешних факторов.

Системы учёта, оборудованные функциями мониторинга качества электроэнергии, позволяют своевременно выявлять потенциальные проблемы, такие как перегрузки, просадки напряжения или скачки, и принимать меры для устранения нарушений. Таким образом, повышается надёжность и стабильность электроснабжения, что особенно важно для объектов социальной инфраструктуры, таких как школы и детские сады.

Особое внимание при выборе системы учёта необходимо уделить её способности работать в составе автоматизированных систем управления. Внедрение автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ) позволяет оперативно собирать данные о потреблении и состоянии электросети, анализировать их и принимать решения, направленные на оптимизацию работы системы. АСКУЭ предоставляет возможность централизованного управления потреблением, что способствует снижению потерь энергии, оптимизации режимов работы оборудования и повышению общей энергоэффективности системы. В современных условиях АСКУЭ является необходимым элементом для создания «умных» городских

энергосетей, которые обеспечивают эффективное взаимодействие между потребителями и поставщиками электроэнергии.

Также важно учитывать, что система учёта электроэнергии должна быть защищена от внешних воздействий и несанкционированного доступа. Надёжная система защиты данных обеспечивает сохранность информации о потреблении электроэнергии и предотвращает её несанкционированное изменение, что важно для обеспечения точности и достоверности расчётов и предотвращения финансовых потерь для поставщиков и потребителей. Использование систем с высоким уровнем защиты данных позволяет снизить вероятность злоупотреблений и повысить доверие потребителей к системе электроснабжения.

Система учёта электроэнергии должна обладать высокой точностью и надёжностью. Современные системы позволяют интегрировать различные датчики и измерительные приборы, которые обеспечивают точное измерение параметров сети, что особенно важно для обеспечения соответствия требованиям стандартов и нормативных актов, регулирующих вопросы энергоснабжения и энергоэффективности. Кроме того, высокоточные системы учёта позволяют избежать ошибок в расчётах и минимизировать возможные риски при взаимодействии с потребителями [1].

Таким образом, выбор системы учёта и контроля электроэнергии в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки требует комплексного подхода, который учитывает множество факторов, таких как точность измерений, возможность мониторинга качественных показателей электроэнергии, способность к интеграции в автоматизированные системы управления и высокий уровень защиты данных. Внедрение современных систем учёта и контроля позволяет обеспечить надёжное и эффективное управление энергоснабжением, что создаёт условия для стабильного энергоснабжения всех потребителей, повышения энергоэффективности и обеспечения устойчивого развития городской инфраструктуры.

Принятая структура АСКУЭ в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки показана на рисунке 9.

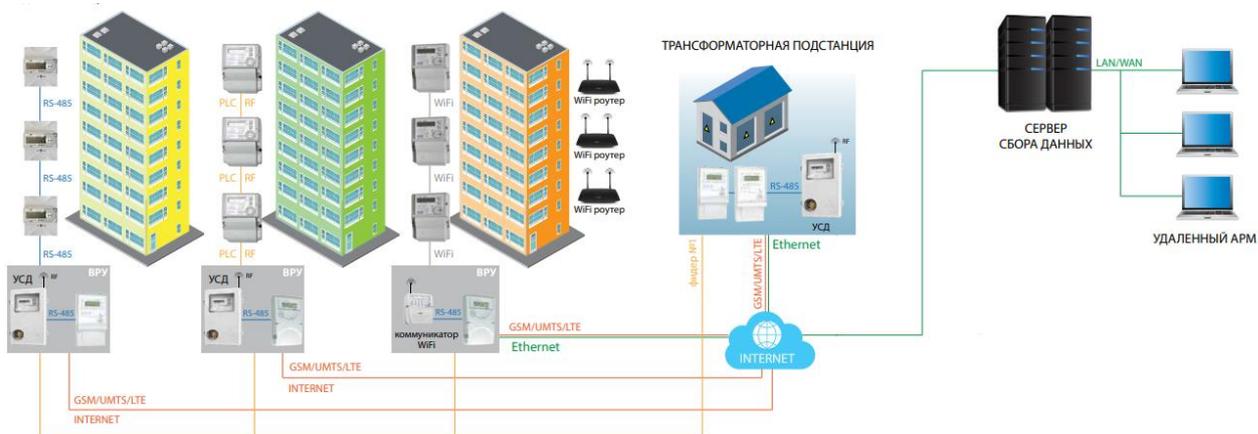


Рисунок 9 – Принятая структура АСКУЭ в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки

В основе АСКУЭ лежит применение многотарифных счётчиков «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» [8], показанный на рисунке 10.



Рисунок 10 – Многотарифный счётчик «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN»

Применение АСКУЭ с многотарифными счётчиками «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки обосновано современными требованиями к энергоэффективности,

надёжности и точности учёта потребляемой электроэнергии. В условиях растущего энергопотребления и повышения тарифов на электроэнергию возникает необходимость внедрения систем, способных обеспечить оптимизацию использования энергетических ресурсов и справедливое распределение затрат между потребителями.

Автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии позволяет осуществлять непрерывный мониторинг потребления электроэнергии в режиме реального времени. Такая система обеспечивает высокую точность измерений и оперативное выявление отклонений в потреблении, что способствует снижению потерь электроэнергии и повышению энергоэффективности. Кроме того, АСКУЭ предоставляет возможность дистанционного считывания показаний, что значительно упрощает процесс сбора данных и снижает затраты на эксплуатацию системы учёта.

Многотарифные счётчики «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» обладают рядом технических преимуществ, которые делают их оптимальным выбором для использования в составе АСКУЭ. Высокий класс точности измерений гарантирует достоверность данных о потреблении электроэнергии каждым потребителем. Наличие нескольких тарифных зон позволяет осуществлять дифференцированный учёт электроэнергии в зависимости от времени суток, что стимулирует потребителей к перераспределению нагрузки и снижению потребления в пиковые часы. Такой подход способствует выравниванию нагрузки на энергосистему и повышению её общей устойчивости [8].

Счётчики «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» оснащены современными интерфейсами связи, такими как RS-485 с поддержкой протоколов Modbus и Mercury, что обеспечивает лёгкую интеграцию в существующие системы автоматизации и диспетчеризации.

Возможность удалённого доступа к данным и их оперативной обработки позволяет энергоснабжающей организации быстро реагировать на изменения

в потреблении и принимать соответствующие меры для оптимизации работы энергосистемы.

Использование данных счётчиков в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки позволяет обеспечить высокую надёжность и безопасность работы электрической сети.

Счётчики обладают функциями самодиагностики и защиты от несанкционированного доступа, что предотвращает возможные попытки вмешательства в работу системы и искажения данных учёта.

Кроме того, счётчики устойчивы к внешним воздействиям, таким как перепады напряжения, электромагнитные помехи и экстремальные температурные условия, что особенно важно в условиях городской среды.

Внедрение АСКУЭ с многотарифными счётчиками способствует повышению прозрачности расчётов между энергоснабжающей организацией и потребителями.

Потребители получают доступ к детальной информации о своём потреблении, что позволяет им более осознанно подходить к использованию электроэнергии и принимать меры по её экономии, что приводит к снижению общих затрат на электроснабжение и повышению удовлетворённости потребителей качеством предоставляемых услуг.

С точки зрения энергоснабжающей организации, использование АСКУЭ с многотарифными счётчиками «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» позволяет оптимизировать процессы управления энергопотреблением, снизить потери в сети и повысить эффективность работы всей энергосистемы. Возможность оперативного выявления неисправностей и несанкционированных подключений способствует снижению коммерческих потерь и повышению финансовой устойчивости компании.

Выводы по разделу.

Выбраны и проверены электрические аппараты для установки в сети наружного электроснабжения 10 кВ многоэтажной жилой застройки.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки, выбраны и проверены следующие электрические аппараты:

- для установки в ячейках питающего РП-10 кВ: вакуумные выключатели высокого напряжения марки ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ, трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10, ограничители перенапряжения марки ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1;
- для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10-100-20 У1.

Установлено, что применение автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии с многотарифными счётчиками «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» в сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки является технически обоснованным и экономически целесообразным решением, обеспечивающим высокую точность и надёжность учёта электроэнергии, способствующим повышению энергоэффективности и устойчивости энергосистемы, а также отвечающим современным требованиям в области энергосбережения и управления энергопотреблением.

8 Обеспечение безопасности проекта

Обеспечение безопасности проекта сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки является ключевым аспектом при создании эффективной и надёжной энергетической инфраструктуры в городской среде.

В условиях высокой плотности населения и значительных электрических нагрузок безопасность электросетей приобретает особое значение, поскольку любые сбои или аварии могут привести к серьёзным последствиям как для жителей, так и для функционирования объектов городской инфраструктуры.

При проектировании наружных электрических сетей необходимо учитывать комплекс возможных рисков и угроз, связанных с эксплуатацией энергетической системы.

Важными факторами являются вероятность возникновения коротких замыканий, перегрузок, повреждений изоляции проводников, а также внешние воздействия, включая неблагоприятные климатические условия и антропогенные факторы.

Особое внимание следует уделять вопросам электромагнитной совместимости, чтобы избежать негативного влияния на работу электронных устройств и систем связи.

Соблюдение действующих нормативных требований и стандартов в области электроэнергетики является фундаментальной основой для обеспечения безопасности.

Необходимо учитывать положения правил устройства электроустановок, государственных стандартов и строительных норм, которые устанавливают строгие требования к выбору оборудования, материалов и методов прокладки сетей.

При этом важно ориентироваться на передовые технические решения и инновационные разработки, способствующие повышению надёжности и долговечности системы электроснабжения.

Инженерные мероприятия по обеспечению безопасности включают использование высококачественных материалов и оборудования, соответствующего спецификациям и сертифицированного в установленном порядке.

Выбор проводников с повышенной стойкостью к перегревам, механическим повреждениям и воздействию агрессивных сред позволяет снизить риск аварийных ситуаций.

Применение современных изоляционных материалов и защитных покрытий обеспечивает дополнительную безопасность и продлевает срок службы электрических сетей.

Установка эффективных защитных устройств является критически важным элементом системы безопасности.

Автоматические выключатели, устройства дифференциальной защиты, ограничители перенапряжения и системы молниезащиты должны быть правильно выбраны и настроены в соответствии с расчётными параметрами сети.

Такие устройства обеспечивают своевременное обнаружение и отключение повреждённых участков, предотвращая распространение аварии и минимизируя ущерб.

Климатические и экологические условия местности, такие как температурные перепады, высокая влажность, коррозионная активность грунтов и атмосферные осадки, оказывают существенное влияние на выбор оборудования и методов прокладки сетей.

Учитывая данные факторы, необходимо предусмотреть использование специальных конструктивных решений, включая герметичные кабельные муфты, антикоррозийные покрытия и средства защиты от влаги.

Внедрение перечисленных мероприятий позволяет обеспечить устойчивость системы к внешним воздействиям и сохранить её функциональность на протяжении всего срока эксплуатации.

Особое значение имеет человеческий фактор в обеспечении безопасности системы электроснабжения.

Квалификация персонала, ответственного за монтаж, эксплуатацию и обслуживание электрических сетей, должна соответствовать высоким профессиональным требованиям [10].

Регулярное проведение инструктажей по охране труда, обучение современным методам работы и соблюдение правил техники безопасности являются обязательными мерами для предотвращения несчастных случаев и аварий [10].

Внедрение систем автоматизированного контроля и мониторинга состояния электрических сетей способствует повышению безопасности и эффективности эксплуатации.

Современные информационные технологии позволяют в режиме реального времени отслеживать параметры работы системы, своевременно выявлять отклонения и принимать оперативные меры по их устранению. Данные аспекты значительно снижают риск возникновения аварийных ситуаций и повышает надёжность электроснабжения потребителей.

Комплексный подход к обеспечению безопасности включает также планирование мероприятий по ликвидации возможных аварий и минимизации их последствий [10].

Разработка планов действий в чрезвычайных ситуациях, создание резервных источников питания и обеспечение оперативного доступа к необходимым ресурсам позволяют быстро реагировать на нештатные ситуации и восстанавливать нормальный режим работы системы [10].

Таким образом, обеспечение безопасности проекта сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки является многогранной задачей, требующей тщательного подхода на всех этапах проектирования и эксплуатации.

Комбинация технических решений, организационных мер и профессиональной подготовки персонала позволяет создать надёжную и

безопасную энергетическую систему, способствующую повышению качества жизни населения и устойчивому развитию городской инфраструктуры.

Выводы по разделу.

Установлено, что обеспечение безопасности проекта сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки требует всестороннего и тщательного подхода на всех этапах проектирования и эксплуатации.

Комплекс мероприятий, включающий соблюдение нормативных требований, использование качественного оборудования, установку эффективных защитных систем, учет климатических и экологических условий, а также высокий уровень профессиональной подготовки персонала, позволяет создать надежную и безопасную энергосистему.

Показано, что внедрение данных мероприятий в проект сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки способствует повышению качества жизни жителей, стабильности работы городской инфраструктуры и устойчивому развитию городской среды в целом.

Заключение

В результате выполнена реконструкция схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москва.

Учитывая климатические и топографические особенности района, при выборе сетей и оборудования необходимо предусмотреть использование кабельных линий с повышенной защитой от влаги и механических повреждений.

В связи с этим, рекомендуется применять кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и внешней оболочкой, устойчивой к воздействию влаги и агрессивных сред. Степень защиты оборудования должна быть не ниже IP54 для наружной установки и IP65 для оборудования, подверженного прямому воздействию атмосферных осадков.

Установлено, что в состав проектируемой системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки г. Москвы входят жилые многоэтажные дома (жилая застройка), нежилые помещения без конкретного функционального назначения (БКФН), дошкольные образовательные организации (ДОО), средние образовательные школы (СОШ), паркинги, офисы, апартаменты, торговый центр.

Определено, что к существующей нагрузке многоэтажной жилой застройки г. Москва относится 80 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности, получающие питание от десяти понизительных ТП-10/0,4 кВ (согласно плану застройки объекта проектирования).

Обосновано применение схемы с одной секционированной выключателем системой сборных шин на питающем распределительном пункте 10 кВ, необходимом для питания десяти трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки Москвы по петлевой схеме электроснабжения с использованием трёх магистральных кабельных линий на напряжении 10 кВ.

В результате проведения расчёта, на данном этапе получены значения расчётных нагрузок следующих объектов и сетей многоэтажной жилой застройки г. Москва:

- отдельных линий для питания потребителей на напряжении 0,4 кВ;
- линий для питания ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки (ТП1-ТП10);
- питающих магистралей М1-М3 напряжением 10 кВ;
- питающего РП-10 кВ.

Полученные значения расчётной нагрузки используются в работе далее при выборе и проверке мощностей силовых трансформаторов для установки на питающих ТП-10/0,4 кВ (ТП1-ТП10) многоэтажной жилой застройки, а также для выбора и проверки электрических аппаратов и проводников на рассматриваемом объекте исследования.

В результате выбора и проверки мощности силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ многоэтажной жилой застройки г. Москва, получены следующие результаты:

- на ТП-1 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10;
- на ТП-2, ТП-4 и ТП-5 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-630/10;
- на ТП-3 и ТП-9 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1250/10;
- на ТП-8 и ТП-10 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1600/10;
- на ТП-6 и ТП-7 обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10.

В результате проведённого расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения многоэтажной жилой застройки города Москвы установлено, что в электрической сети напряжением 10 кВ значение

трёхфазного тока короткого замыкания в максимальном режиме составляет 6,5 кА, а ударный ток трёхфазного короткого замыкания достигает 9,2 кА.

В сети низкого напряжения аналогичные расчёты показали, что значение трёхфазного тока короткого замыкания составляет 5,3 кА, а ударный ток достигает значения 7,5 кА.

Полученные результаты позволяют оценить параметры аварийных режимов и подобрать соответствующее оборудование для защиты сети от повреждений, а также обеспечить её надёжное и безопасное функционирование.

В результате проведения выбора проводников сетей наружного электроснабжения 10 кВ, для питания РП-10 кВ от ПС-110/410 кВ «Очаково» выбраны и подтверждены два силовых кабеля марки АПвПуг 3×300/25, а для питания трёх магистралей 10 кВ от шин РП-10 кВ обосновано применение кабелей марок АПвПуг 3×150/25 (магистраль М1), а также АПвПуг 3×185/25 (магистралей М2 и М3) с использованием петлевой схемы, выбор которой детально обоснован в работе.

Выбраны и проверены электрические аппараты для установки в сети наружного электроснабжения 10 кВ многоэтажной жилой застройки.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения многоэтажной жилой застройки, выбраны и проверены следующие электрические аппараты:

- для установки в ячейках питающего РП-10 кВ: вакуумные выключатели высокого напряжения марки ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 У3, трансформаторы тока марки ТОЛ–СЭЩ–10, ограничители перенапряжения марки ОПН–П–10/12,7/10/400 УХЛ1;
- для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10-100-20 У1.

Установлено, что применение автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии с многотарифными счётчиками «Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN» в сети наружного электроснабжения

многоэтажной жилой застройки является технически обоснованным и экономически целесообразным решением, обеспечивающим высокую точность и надёжность учёта электроэнергии, способствующим повышению энергоэффективности и устойчивости энергосистемы, а также отвечающим современным требованиям в области энергосбережения и управления энергопотреблением.

Установлено, что обеспечение безопасности проекта сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки требует всестороннего и тщательного подхода на всех этапах проектирования и эксплуатации.

Комплекс мероприятий, включающий соблюдение нормативных требований, использование качественного оборудования, установку эффективных защитных систем, учет климатических и экологических условий, а также высокий уровень профессиональной подготовки персонала, позволяет создать надёжную и безопасную энергосистему.

Показано, что внедрение данных мероприятий в проект сети наружного электроснабжения многоэтажной жилой застройки способствует повышению качества жизни жителей, стабильности работы городской инфраструктуры и устойчивому развитию городской среды в целом.

Таким образом, основываясь на полученных результатах, подтверждено, что предложенный проект многоэтажной жилой застройки характеризуется высокими показателями надёжности, экономичности, бесперебойности питания потребителей, безопасности, а также селективности и чувствительности защиты.

Список используемых источников

1. АСКУЭ: виды, принцип работы, плюсы и минусы [Электронный ресурс]: URL: <https://www.panpwr.ru/blog/tpost/mv3u92ijau-askue-vidi-printsip-raboti-plyusi-i-minu> (дата обращения: 19.10.2024).

2. Кабель АПвПуг – 10 кВ [Электронный ресурс]: URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjM972s0ZiJAxVa2wIHHbmYAmwQFnoECBkQAQ&url=https%3A%2F%2Fk-ps.ru%2Fspravochnik%2Fkabeli-silovyye%2Fs-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv%2Fapvpug-10kv%2F&usg=AOvVaw0al0Bd4R4NWf9Mvy_C8zyS&opi=89978449 (дата обращения: 19.10.2024).

3. Карта Москвы [Электронный ресурс]: URL: https://www.google.com/maps/place/Москва,+Россия/@55.582026,37.3855235,9z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x46b54afc73d4b0c9:0x3d44d6cc5757cf4c!8m2!3d55.755826!4d37.6172999!16zL20vMDRzd2Q?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTAxNS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D (дата обращения: 19.10.2024).

4. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.

5. Климат Москвы. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/27612.htm> (дата обращения: 19.10.2024).

6. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.

7. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

8. Меркурий 230 ART 00 PQRSIDN. Счетчик трёхфазный многотарифный. [Электронный ресурс]: URL: <https://mercury.nt-rt.ru/price/product/174728> (дата обращения: 19.10.2024).

9. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

10. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 19.10.2024).
14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
16. Силовые трансформаторы (каталог). [Электронный ресурс]: URL: https://transformator.ru/upload/iblock/434/katalog_Transi.pdf (дата обращения: 19.10.2024).
17. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.
18. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Инфра-М. 2019. 136 с.
19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.
20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.