

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 Модернизация системы электроснабжения многоквартирного жилого дома № 24
в г. Екатеринбург

Обучающийся

А. А. Нигамедзянов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А. В. Бычков

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе проведена частичная модернизация основного электрооборудования системы электроснабжения многоквартирного жилого дома № 24 в г. Екатеринбург.

Проведён анализ исходных данных и обоснование необходимости модернизации объекта.

Используя полученные результаты расчёта электрических нагрузок потребителей многоквартирного жилого дома, проведены выбор и проверка трансформаторов на питающей подстанции, а также новых проводников и электрических аппаратов питающей и распределительной сети объекта исследования.

Осуществлена модернизация систем учёта и контроля электроэнергии, а также системы релейной защиты объекта.

Проведено экономическое обоснование принятых решений.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской объёмом 70 печатных страниц, а также графической частью, которая включает 6 листов графической части, выполненных в ОС «AutoCAD 2019».

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных и обоснование необходимости модернизации объекта.....	7
1.1 Анализ исходных данных по системе электроснабжения жилого дома .	7
1.2 Анализ требований к системе электроснабжения многоквартирного жилого дома	17
2 Расчет электрических нагрузок и токов короткого замыкания.....	21
2.1 Расчет электрических нагрузок	21
2.2 Расчет токов короткого замыкания	27
3 Выбор и проверка трансформаторов, проводников и аппаратов	34
3.1 Проверка трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ	34
3.2 Выбор и проверка проводников многоэтажного жилого дома	37
3.3 Выбор электрических аппаратов многоэтажного жилого дома.....	42
4 Модернизация систем учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты и автоматики	49
4.1 Модернизация систем учёта и контроля электроэнергии.....	49
4.2 Модернизация системы релейной защиты	52
5 Экономическое обоснование принятых решений	55
Заключение	64
Список используемой литературы	68

Введение

Модернизация систем электроснабжения жилищного фонда в Российской Федерации направлена на улучшение качества жизни граждан и повышение эффективности энергетического сектора. Это достигается путем обновления инфраструктуры, замены устаревшего оборудования и внедрения интеллектуальных сетей, которые позволяют более эффективно управлять потреблением и распределением электроэнергии.

Кроме того, в процессе модернизации важную роль играет внедрение энергосберегающих технологий и использование возобновляемых источников энергии. Это не только снижает нагрузку на существующие сети электроснабжения, но и способствует защите окружающей среды, а также повышению надёжности всей системы электроснабжения.

На стадии модернизации, очень важно также улучшение состояния систем учета электроэнергии, что позволяет более точно измерять и спрогнозировать ее потребление, чтобы в дальнейшем оптимизировать тарифы для потребителей жилых объектов.

Кроме того, для успешной модернизации необходимо обеспечить сотрудничество между всеми заинтересованными сторонами, включая государственные органы, энергетические компании, производителей оборудования и потребителей. Это поможет координировать усилия и ресурсы для достижения общих целей.

Известно, что одним из ключевых факторов модернизации систем электроснабжения жилищного фонда является обеспечение их надежной работы и безопасности. Данные аспекты включают в себя усовершенствования защиты от аварийных ситуаций, улучшение систем контроля и мониторинга, а также повышение квалификации персонала, обслуживающего электрические сети жилищных объектов.

В дополнение к этому, важным шагом в модернизации является также расширение доступа населения к качественной и доступной электроэнергии,

особенно в отдаленных и сельских районах. Данное мероприятие может быть реализовано путем строительства новых линий электропередач, а также внедрения локальных систем энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии.

Наконец, для обеспечения устойчивого развития систем электроснабжения жилищного фонда в Российской Федерации необходимо также проводить постоянный мониторинг и оценку их состояния, а также регулярно проводить необходимые ремонтные работы и модернизацию оборудования. Это позволит предотвратить возникновение аварийных ситуаций и продлить срок службы энергетических сетей.

Приведённые выше аспекты обуславливают актуальность и практическую ценность настоящей работы [20].

Целью работы является частичная модернизация (техническое перевооружение) основного электрооборудования системы электроснабжения многоквартирного жилого дома № 24 в г. Екатеринбург.

Объектом исследования является система электроснабжения многоквартирного жилого дома № 24 в г. Екатеринбург.

В качестве предмета исследования рассматриваются параметры надёжности, экономичности, безопасности и экологичности, присущие объекту исследования.

Для достижения основной цели работы, предлагается решить следующие основные поставленные задачи:

- детально рассмотреть и провести анализ общей характеристики объекта исследования, включая анализ технических данных и условий, характеристику климатических и топографических условий, а также анализ требований, предъявляемые к системам электроснабжения жилых объектов. На основании предоставленной информации и аналитических данных, провести обоснование модернизации (технического перевооружения) оборудования системы электроснабжения многоквартирного жилого дома;

- провести разработку и технический расчёт мероприятий по модернизации объекта. Данное направление достигается с помощью двух этапов: на первом этапе проводится расчёт параметров электрической сети, включающий расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания, а на втором этапе предполагается выбор и проверка оборудования электрической сети объекта реконструкции (проверка силовой системы и системы релейной защиты питающей сети многоквартирного жилого дома);
- рассчитать необходимые экономические показатели проекта реконструкции и модернизации системы электроснабжения многоквартирного жилого дома. Провести анализ исходных данных для экономического расчёта. При этом основное внимание уделить расчёту капиталовложений, суммарных эксплуатационных издержек, суммарной стоимости проекта, а также вероятному сроку его окупаемости. На основании последнего, необходимо сделать вывод о целесообразности внедрения данного проекта.

1 Анализ исходных данных и обоснование необходимости модернизации объекта

1.1 Анализ исходных данных по системе электроснабжения жилого дома

Рассматриваемый жилой дом находится в г. Екатеринбург.

«Рассматриваемое в работе многоэтажное жилое здание является многоэтажным домом жилого типа.

Оно расположено в одном высотном многоэтажном сооружении, имеющего девять этажей, в котором также расположены торговые потребители и потребители сферы обслуживания (первый этаж здания), а также жилые потребители: квартиры жилого фонда (второй – девятый этажи).

По степени надежности электроснабжения, сооружение, в котором расположен многоэтажный дом жилого типа, относится ко II категории потребителей» [11].

Дом состоит из панельных конструкций, которые являются прочными и экологически чистыми.

Расположение секций многоэтажного жилого здания представлено на рисунке 1.

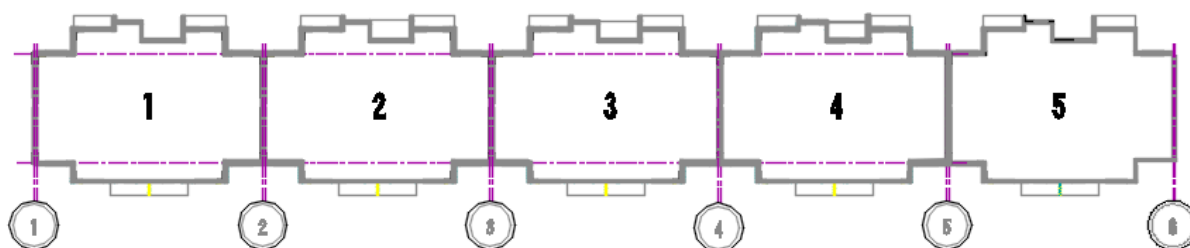


Рисунок 1 – Расположение секций многоэтажного жилого здания

Энергоснабжение высотного модернизируемого жилого дома осуществляется через трансформаторную подстанцию 10/0,4 кВ, которая находится рядом с объектом (приблизительно – в 50 метрах).

Такое расположение рационально использовать для уменьшения потерь напряжения на концах распределительных линий, а также для минимизации потерь электроэнергии в сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ.

Как упомянуто выше, согласно стандартам [11], высотное жилое здание жилого типа относится к II категории надежности.

Это означает, что электрическое питание всех элементов комплекса должно быть реализовано «по радиальной схеме с двумя кабельными линиями, питающихся от разных секций шин 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ.

Таким образом, для данной категории надёжности необходимо предусмотреть два независимых источника питания.

Поэтому питание объекта исследования осуществляется от понизительной подстанции 10/0,4 кВ, на которой расположены два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10» [11].

Питается жилой дом от данного энергообъекта «кабельной линией электропередач, состоящей из двух силовых кабелей марки АВВГ» [11] (3×120), прокладка – в траншее.

Данная кабельная линия изношена и требует замены.

Однолинейная схема, показывающая связь ТП-10/0,4 кВ с жилым домом, изображена на рисунке 2.

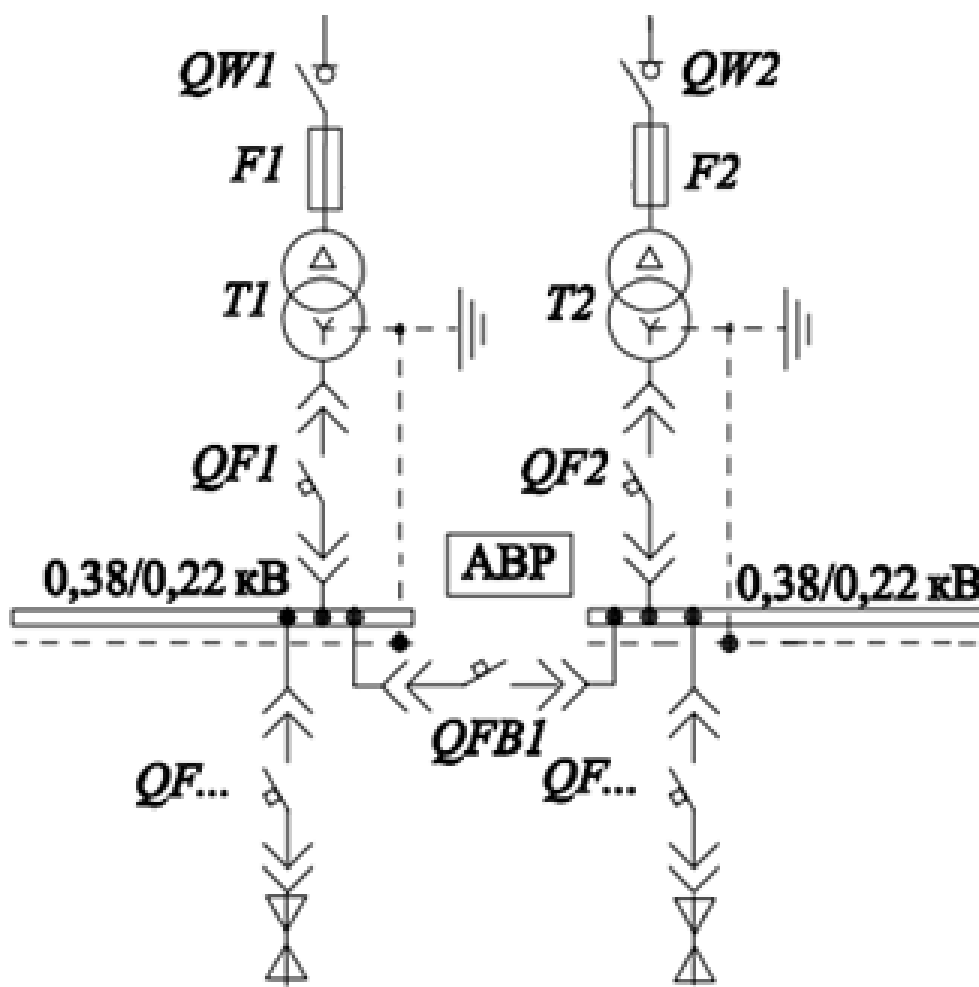


Рисунок 2 – Однолинейная схема, показывающая связь ТП 10/0,4 кВ с жилым домом

«От трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, электроэнергия распределяется на вводные распределительные устройства (далее – ВРУ-0,4 кВ) напряжением 0,4 кВ, в которых располагаются автоматы ввода, служащие для защиты и коммутации всей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения объекта.

Также между секциями сборных шин ВРУ-0,4 кВ» [11] есть секционный автомат, необходимый для обеспечения резерва.

При этом автоматы ввода и секционный автомат марки АЕ, применяемые во ВРУ-0,04 кВ, устарели, износились и требуют замены.

От ВРУ-0,4 кВ питаются распределительные шкафы.

При этом для силовой нагрузки используются силовые распределительные шкафы (далее – СРШ-0,4 кВ), а для питания освещения –

распределительные шкафы освещения в виде щитков рабочего (далее – ЩРО) и аварийного (далее – ЩАО) освещения.

Всё оборудование распределительной сети 0,38/0,22 кВ жилого дома (проводники и аппараты) – новое и современное, оно было полностью заменено в 2016 году, поэтому на сегодняшний день в модернизации не нуждается.

Схемы освещения парадных жилого дома должны быть надёжными и предусматривать подключение дополнительного технологического оборудования для проведения ремонта.

Однолинейная схема питания освещения парадных дома представлена на рисунке 3.

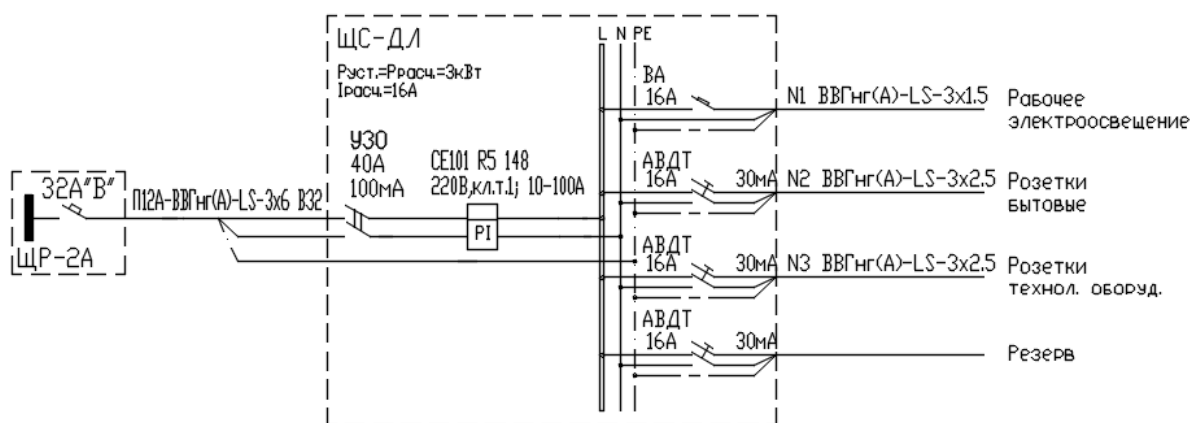


Рисунок 3 – Однолинейная схема питания освещения парадных дома

Известно, что при проектировании и монтаже электрической системы в квартирах жилых домов, необходимо соблюдать определенные требования для обеспечения безопасности, удобства и надежности.

Однолинейная схема питания квартир дома представлена на рисунке 4.

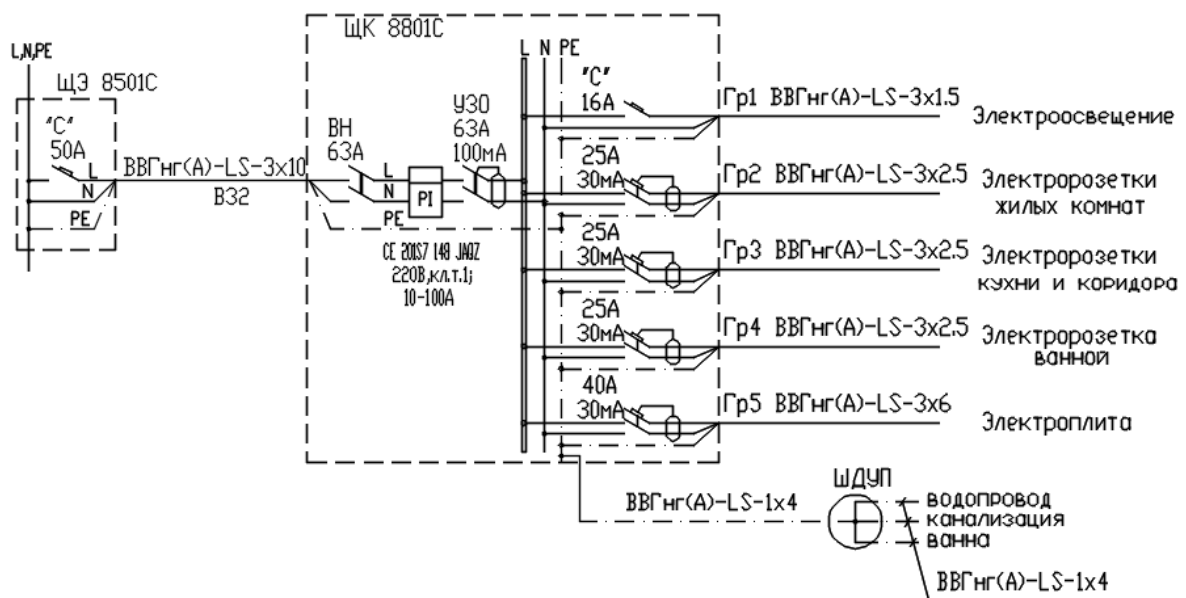


Рисунок 4 – Однолинейная схема питания квартир дома

Кроме того, на объекте исследования устарели система учёта и контроля электроэнергии (введена в работу в 2003 году), а также система релейной защиты и автоматики на питающем ТП-10/0,4 кВ (введена в работу в 1996 году). Следовательно, они нуждаются в модернизации (полной замене на современные марки оборудования).

Таким образом, учитывая техническое состояние оборудования и проведя анализ схемных решений на объекте исследования, установлено следующее:

- все схемные решения, внедрённые в системе электроснабжения объекта исследования, являются рациональными и соответствуют требованиям нормативных документов по надёжности, экономичности, бесперебойности и электробезопасности, поэтому они не требуют изменений;
- установлено, что питающая сеть жилого дома требует технических решений по модернизации, заключающихся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) и вводных и секционных автоматов марки АЕ;

- установлено, что всё оборудование распределительной сети 0,38/0,22 кВ жилого дома (проводники и аппараты) – новое и современное, оно было полностью заменено в 2016 году, поэтому на сегодняшний день в модернизации не нуждается;
- определено, что на объекте исследования устарели система учёта и контроля электроэнергии (введена в работу в 2003 году), а также система релейной защиты и автоматики на питающем ТП-10/0,4 кВ (введена в работу в 1996 году). Следовательно, они также нуждаются в модернизации (полной замене на современные марки оборудования).

С учётом выбранных схемных решений, далее проводится аргументированный выбор оборудования для установки в модернизируемой системе электроснабжения многоквартирного жилого дома.

Далее необходимо рассмотреть основные потребители жилого дома.

В состав современного сооружения многоэтажного жилого здания входят электроприёмники 0,38/0,22 кВ [11].

Далее в материале будет рассмотрена планировка отдельных секций в доме. При этом детальное проектирование будет проводиться на примере одной из секций жилого дома, так как объект включает пять аналогичных и одинаковых секций. Исходя из этого, потребители в доме разделяются на следующие категории:

- коммерческие помещения;
- жилищные единицы;
- инженерные и технические системы.

На первых уровнях каждой из секций преимущественно размещаются коммерческие помещения. В их число входят:

- торговые точки с непродовольственными товарами;
- кафе и рестораны;
- продуктовые магазины.

Все коммерческие потребители, «расположенные в коммерческих помещениях модернизируемого жилого дома, относятся ко 2 категории надёжности, значит, они должны получать питание по схеме с резервированием от двух независимых источников» [11].

Данные факты должны быть учтены при проектировании и выборе схемы электроснабжения объекта.

Состав и характеристики коммерческих потребителей каждой секции модернизируемого многоэтажного жилого здания в работе представлен в форме таблицы 1. Исходя из данных таблицы 1, принимаются номинальные параметры для расчёта нагрузок в работе далее.

Таблица 1 – Состав и характеристики коммерческих потребителей дома

Наименование потребителя	Этаж	Номер потребителя по плану	$P_{ном}$, кВт	п, шт.	$P_{уст}$, кВт
Магазин продовольственных товаров	1	1	50,0	1	50,0
Магазин непродовольственных товаров	1	2	40,0	1	40,0
Ресторан	1	3	120,0	1	120,0
Всего коммерческих потребителей секций многоэтажного жилого здания				3	210,0

Все жилищные потребители, расположенные в жилищных помещениях модернизируемого жилого дома, также относятся ко 2 категории надёжности, значит, поэтому они получают питание по схеме с резервированием от двух независимых источников. «Состав и характеристики жилищных потребителей каждой секции модернизируемого многоэтажного жилого здания в работе представлен в форме таблицы 2» [11].

Таблица 2 – Состав и характеристики жилищных потребителей дома

Наименование потребителя	Номер потребителя по плану	$P_{ном}$, кВт	п, шт.	$P_{уст}$, кВт
Квартиры (1 комната)	4	8,0	60	480,0
Квартиры (2 комнаты)	5	10,0	30	300,0
Квартиры (3 комнаты)	6	12,0	15	180,0
Квартиры (4 комнаты)	7	15,0	10	150,0
Квартиры (5 комнат)	8	20,0	5	100,0
Всего квартир			120	1210,0

Все инженерные и технические системы, расположенные в технических помещениях модернизируемого жилого дома, также относятся к 1 и 2 категории надёжности, значит, они получают питание по схеме с резервированием от двух независимых источников. Кроме того, для питания потребителей 1 категории надёжности, должно применяться автоматическое включение резервного питания [11].

Состав и характеристики существующих инженерных и технических систем дома в работе представлен в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Состав и характеристики существующих инженерных и технических систем дома

Наименование коммуникации	$P_{ном}$, кВт	п, шт.	$P_{уст}$, кВт
Лифты грузовые	7,5	5	37,5
Лифты пассажирские	4,5	5	22,5
Система пожаротушения	2,0	5	10,0
Освещение коридоров и лестничных клеток	0,2	45	9,0
Наружное освещение парадных	0,5	5	2,5
Наземный паркинг	5,0	1	5,0
Всего			86,5

Однако современные высотные жилые здания нового поколения создаются так, чтобы минимизировать их зависимость от внешних обстоятельств. В современном доме жилого типа необходимо создать улучшенный уровень комфорта. Это достигается благодаря интеграции современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения, учтенных на этапе модернизации и полностью автоматизированных.

К таким системам на объекте проектирования относятся:

- независимое отопление;
- системы кондиционирования и поддержания влажности;
- установки для тушения пожара;
- устройства очистки воздуха;
- оборудование для подогрева воды;
- аварийное водоснабжение;

- резервные системы водоотведения;
- современные лифты, как пассажирские, так и грузовые;
- телекоммуникационные сети, включая видеосвязь с охраной и сигнализацию.

В результате проведения модернизации, предлагается такие системы жизнеобеспечения применить также в системе электроснабжения жилого многоквартирного дома. Состав и характеристики новых современных инженерных и технических систем, внедряемых в результате модернизации в доме, в работе представлен в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Состав и характеристики новых современных инженерных и технических систем, внедряемых в результате модернизации в доме

Наименование коммуникации	Номер потребителя по плану	$P_{ном},$ кВт	n, шт.	$P_{уст},$ кВт
Лифты грузовые	9	7,5	5	37,5
Лифты пассажирские	10	4,5	5	22,5
Автономная система отопления	11	22,0	5	110,0
Система кондиционирования и увлажнения воздуха	12	3,0	5	15,0
Система пожаротушения	13	2,0	5	10,0
Система фильтрации воздуха	14	1,2	5	6,0
Система нагрева воды	15	3,0	5	15,0
Система резервного водообеспечения	16	3,0	5	15,0
Система резервного водоотведения	17	3,0	5	15,0
Системы телекоммуникаций	18	0,5	5	2,5
Пост охраны	19	5,0	5	25,0
Диспетчерский центр	20	5,0	1	5,0
Освещение коридоров и лестничных клеток	21	0,2	45	9,0
Наружное освещение парадных	22	0,5	5	2,5
Подземный паркинг	23	12,0	1	12,0
Наземный паркинг	24	5,0	1	5,0
Всего			108	307,0

Также планируется установка осветительных приборов в коридорах и на лестницах с мощностью 0,2 кВт, а также внешний свет для входных групп с мощностью 0,5 кВт. Все световые решения на объекте предполагают использование передовых LED-ламп, способных значительно снизить потребление электроэнергии и повысить эффективность работы.

Все инженерные системы в многоэтажке должны автоматически функционировать, обеспечивая минимальный уровень шума. Для мониторинга инженерных систем модернизируемого жилого дома предполагается создание диспетчерской службы, которая будет располагаться на первом уровне здания рядом с пунктом охраны. Специалисты этой службы будут непрерывно следить за работой всех вышеупомянутых систем. Таким образом, установлено, что дополнительным мероприятием по модернизации системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, является ввод в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения, учтенных на этапе модернизации и полностью автоматизированных.

Для выбора нового оборудования необходимо учесть климатические условия региона [5]. Климат Екатеринбурга умеренно континентальный, с холодной зимой и теплым летом. Город расположен на восточном склоне Уральских гор, что оказывает определенное влияние на его климатические условия. Зима в Екатеринбурге длительная и «морозная, средняя температура января составляет около минус 14°C. Снежный покров устанавливается обычно в ноябре и держится до начала апреля. Лето в регионе короткое и теплое, средняя температура июля составляет» [5] около 18°C. Осадки выпадают преимущественно в теплый период года, причем максимум их приходится на июль. В Екатеринбурге также наблюдается явление так называемого «уральского антициклона», когда над городом устанавливается холодный и ясный воздух, что приводит к резкому похолоданию как зимой, так и летом. В Екатеринбурге район по ветровому давлению – II, толщина стенки гололеда – 20 мм. В целом, климат Екатеринбурга характеризуется значительными колебаниями температур как в течение года, так и в течение суток. Этот факт требует адаптации как со стороны населения, так и со стороны инфраструктуры города. Также данные условия необходимо учитывать при выборе и проверке нового оборудования. На основании данной информации, проводится решение поставленных задач.

1.2 Анализ требований к системе электроснабжения многоквартирного жилого дома

В работе проводится анализ требований к системе электроснабжения модернизируемого многоэтажного жилого дома.

Такой анализ необходим для обеспечения безопасности, надежности и эффективности его эксплуатации, которые закладываются в систему электроснабжения при её проектировании.

Системы электроснабжения гражданских жилых сооружений в Российской Федерации должны соответствовать строгим требованиям и стандартам, направленным на обеспечение безопасности, надежности, экономичности и комфорта проживания.

Эти требования устанавливаются рядом нормативных документов, включая строительные нормы и правила (СНиП), ГОСТы, а также Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [11].

Все системы электроснабжения гражданских жилых сооружений в Российской Федерации должны в полной мере отвечать следующим основным требованиям и критериям [9],[10],[11],[16].

Однако среди многочисленных требований, выделяются четыре основных критерия, полученных в результате проведения анализа основных источников литературы.

Первый основной критерий – обеспечение безопасности. Должны быть предусмотрены:

- заземление и молниезащита: все жилые здания должны быть оснащены надежной системой заземления и молниезащиты для защиты от поражения электрическим током и повреждений от молний;
- защита от перегрузок и коротких замыканий: необходимо использование автоматических выключателей и устройств

защитного отключения (узо) для предотвращения перегрузок, коротких замыканий и утечек тока;

- использование материалов и оборудования: все материалы и оборудование, используемые в системе электроснабжения, должны соответствовать установленным стандартам качества и безопасности.

Второй основной критерий – надежность электроснабжения. Он предполагает наличие таких элементов, как:

- двойное питание: для объектов, требующих повышенной надежности электроснабжения, рекомендуется предусматривать две независимые линии питания;
- резервное питание: важные объекты жизнеобеспечения в жилых зданиях, такие как лифты, насосы систем отопления и водоснабжения, должны быть подключены к источникам резервного питания.

Третьим основным критерием является экономичность и эффективность, к которым относятся:

- энергоэффективность: применение энергоэффективного оборудования и осветительных приборов способствует снижению потребления электроэнергии и эксплуатационных расходов;
- использование возобновляемых источников энергии: поощряется использование солнечных панелей, ветровых генераторов и других возобновляемых источников энергии для обеспечения экологически чистого и экономически выгодного электроснабжения.

Четвёртым основным критерием является комфорт проживания. Он предполагает:

- доступность розеток и выключателей: должно быть предусмотрено достаточное количество розеток и выключателей, удобно расположенных в каждом помещении, с учетом современных потребностей в электропитании;

- освещение: системы освещения должны обеспечивать достаточный и равномерный уровень освещенности в соответствии с нормами для жилых помещений;
- интеллектуальные системы управления: внедрение систем «умный дом» для управления освещением, отоплением и другими системами жизнеобеспечения повышает комфорт и безопасность проживания.

Выводы по разделу.

В работе проведено описание исходных данных многоквартирного жилого дома №24 в Екатеринбурге. Проведена характеристика технических, схемных, а также климатических и топографических условий объекта исследования.

В результате анализа исходных данных существующей системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, установлено следующее:

- все схемные решения являются рациональными и соответствуют требованиям нормативных документов по надёжности, экономичности, бесперебойности и электробезопасности, поэтому они не требуют изменений;
- установлено, что питающая сеть жилого дома требует технических решений по модернизации, заключающихся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) и вводных и секционных автоматов марки АЕ;
- установлено, что всё оборудование распределительной сети 0,38/0,22 кВ жилого дома (проводники и аппараты) – новое и современное, оно было полностью заменено в 2016 году, поэтому на сегодняшний день в модернизации не нуждается;
- определено, что на объекте исследования устарели система учёта и контроля электроэнергии (введена в работу в 2003 году), а также система релейной защиты и автоматики на питающем ТП-10/0,4 кВ (введена в работу в 1996 году). Следовательно, они также нуждаются

в модернизации (полной замене на современные марки оборудования);

- установлено, что дополнительным мероприятием по модернизации системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, является ввод в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения, учтенных на этапе модернизации и полностью автоматизированных.

Таким образом, в работе для решения поставленных задач необходимо провести:

- модернизацию питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающуюся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) и вводных и секционных автоматов марки АЕ;
- модернизацию системы учёта и контроля электроэнергии, а также системы релейной защиты и автоматики на питающем ТП-10/0,4 кВ;
- модернизацию и обновление схемы распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения.

Также требуется проверка всех технических решений, не требующих модернизации (проверка мощности трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ, проводников и аппаратов в распределительной сети 0,38/0,22 кВ, а также аналогичных прочих решений).

2 Расчет электрических нагрузок и токов короткого замыкания

2.1 Расчет электрических нагрузок

Цели и задачи расчёта электрических нагрузок многоэтажного жилого дома играют ключевую роль в проектировании и эксплуатации электрической системы.

Эти расчёты помогают обеспечить безопасность, экономичность и надежность системы. Основные цели расчёта электрических нагрузок многоэтажного жилого дома заключаются в следующем [4]:

- обеспечение безопасности: главной целью любой электрической системы является обеспечение безопасности жителей и сохранность имущества. Правильный расчёт электрических нагрузок многоэтажного жилого дома поможет избежать перегрузок, коротких замыканий и других аварийных ситуаций;
- определение максимальной нагрузки: определение пиковых электрических нагрузок поможет правильно выбрать оборудование на питающей трансформаторной подстанции многоэтажного жилого дома, а также в распределительной и питающей сетях 10 кВ и 0,38/0,22 кВ;
- обеспечение надежности: правильный расчёт электрических нагрузок многоэтажного жилого дома гарантирует, что система будет работать стабильно и надёжно в любых условиях всех режимов (нормального, аварийного и максимального);
- экономичность: известно, что оптимизация электрической системы на основе реальных нагрузок, может привести к снижению затрат на электроэнергию и оборудование в системе электроснабжения многоэтажного жилого дома.

Основные задачи расчёта электрических нагрузок многоэтажного жилого дома заключаются в следующем:

- оценка нагрузки отдельных потребителей силовой сети и сети наружного освещения и освещения парадных;
- оценка суммарной максимальной нагрузки всех потребителей в доме, включая освещение и основные силовые нагрузки потребителей;
- равномерное разделение потребителей по фазам сети: определение нагрузки по различным группам потребителей и последующее их равномерное распределение по фазам питающей сети;
- «анализ перегрузок: определение потенциальных перегрузок в системе и рекомендации по их устранению;
- выбор оборудования и сетей многоэтажного жилого дома: на основе рассчитанных нагрузок, проводится выбор соответствующего оборудования объекта: трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ, аппаратов и проводников 10 кВ и 0,38/0,22 кВ» [6];
- определение резервов мощности для будущего расширения или изменений в системе электроснабжения многоэтажного жилого дома.

Значение расчётных силовых нагрузок (активной, реактивной и полной) для отдельных потребителей в доме [6], с учётом освещения [16]:

$$P_{p.п} = K_o P_{ном}, \text{кВт}, \quad (1)$$

$$Q_{p.п} = P_{p.п} \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар}, \quad (2)$$

$$S_{p.п} = \sqrt{P_{p.п}^2 + Q_{p.п}^2}, \text{кВА}, \quad (3)$$

где $P_{p.п}$, $Q_{p.п}$, $S_{p.п}$ – «соответственно, активная, реактивная и полная нагрузки, кВт, квар, кВА;

K_o – коэффициент одновременности максимума нагрузок потребителей в доме;

$P_{ном.}$ – установленная проектная мощность потребителей в доме, кВт;

$\text{tg } \varphi$ – значение нормированного коэффициента реактивной мощности» [6].

На примере потребителя №1 коммерческих помещений (магазин продтоваров):

$$P_{p.п} = 50 \cdot 1 = 50 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p.п} = 50 \cdot 0,48 = 24 \text{ квар.}$$

$$S_{p.п} = \sqrt{50^2 + 24^2} = 55 \text{ кВА.}$$

Аналогично проведён расчёт нагрузок на вводе остальных отдельных потребителей и результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные силовые нагрузки на вводе отдельных потребителей многоэтажного жилого здания

Номер потребителя по плану	$P_{ном.}$, кВт	$P_{p.п.}$, кВт	$Q_{p.п.}$, квар	$S_{p.п.}$, кВА
Коммерческие помещения				
1	50,0	50,0	24,0	55,0
2	40,0	40,0	19,2	44,4
3	120,0	120,0	57,6	133,1
Жилищный фонд				
4	9,0	9,0	-	9,0
5	11,1	11,1	-	11,1
6	13,3	13,3	-	13,3
7	15,8	15,8	-	15,8
8	22,2	22,2	-	22,2
Инженерные и технические системы				
9	7,5	7,5	3,6	8,3
10	4,5	4,5	2,2	5,0
11	22,0	22,0	-	22,2
12	3,0	3,0	1,4	3,3
13	2,0	2,0	1,0	2,2
14	1,2	1,2	0,6	1,3
15	3,0	3,0	-	3,0
16	3,0	3,0	1,4	3,3
17	3,0	3,0	1,4	3,3
18	0,5	0,5	-	0,5
19,20,24	5,0	5,0	2,0	6,0
21,22	0,2	0,2	0,01	0,3
23	0,5	0,5	0,2	0,6

«Значение расчётных силовых нагрузок на вводе СРШ» [4]:

$$P_{p.CPШ} = K_o P_{p.n} n, \text{кВт}, \quad (4)$$

$$Q_{p.CPШ} = P_{p.CPШ} \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар}, \quad (5)$$

$$S_{p.CPШ} = \sqrt{P_{p.CPШ}^2 + Q_{p.CPШ}^2}, \text{кВА}, \quad (6)$$

где « $P_{p.CPШ}$, $Q_{p.CPШ}$, $S_{p.CPШ}$ – соответственно, расчётная активная, реактивная и полная нагрузки CPШ, кВт, квар, кВА» [6].

На примере потребителя №1 коммерческих помещений (магазин продтоваров) по (4 – 6):

$$P_{p.CPШ} = 0,85 \cdot 50 = 42,5 \text{кВт},$$

$$Q_{p.CPШ} = 42,5 \cdot 0,48 = 20,4 \text{квар},$$

$$S_{p.CPШ} = \sqrt{42,5^2 + 20,4^2} = 47,1 \text{кВА}.$$

Результаты расчёта нагрузки CPШ дома представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта нагрузки CPШ дома

Номер потребителя/наименование группы потребителей	$P_{p.n}$, кВт	n, шт	K_o	$P_{p.CPШ}$, кВт	$Q_{p.CPШ.}$, квар	$S_{p.CPШ.}$, кВА
Коммерческие помещения						
1	50,0	-	0,85	42,5	20,4	47,1
2	40,0	-	1,00	40,0	19,2	44,4
3	120,0	-	1,00	120,0	57,6	133,1
Итого по коммерческим помещениям	-	-	-	202,5	97,2	224,6
Жилищный фонд						
4	8,0	60	0,75	183,0	-	183,0
5	10,0	30	0,8	187,2	-	187,2
6	12,0	15	0,85	133,1	-	133,1
7	15,0	10	0,87	113,1	-	113,1
8	20,0	5	0,9	99,8	-	99,8
Итого по жилищному фонду	-	120	-	645,8	310,0	716,2
Инженерные и технические системы						
9	7,5	5	0,9	33,8	16,2	37,5
10	4,5	5	0,9	20,3	9,7	22,5
11	22,0	5	0,9	109,8	-	109,8

Продолжение таблицы 6

Номер потребителя/наименование группы потребителей	$P_{р.п.}$, кВт	n , шт	K_o	$P_{р.СРШ}$, кВт	$Q_{р.СРШ}$, квар	$S_{р.СРШ}$, кВА
12	3,0	5	0,9	13,5	6,5	15,0
13	2,0	5	0,9	9,0	4,3	10,0
14	1,2	5	0,9	5,4	2,6	6,0
15	3,0	5	0,9	13,5	-	13,5
16	3,0	5	0,9	13,5	6,5	15,0
17	3,0	5	0,9	13,5	6,5	15,0
18	0,5	5	0,9	2,3	-	2,3
19	5,0	5	0,9	23,0	-	23,0
20	5,0	-	1,00	5,0	2,4	5,5
21	0,2	45	0,6	5,4	2,6	6,0
22	0,5	5	0,9	2,3	1,1	2,6
23	12,0	-	1,00	12,0	5,8	13,3
24	5,0	-	1,00	5,0	2,4	5,5
Итого по инженерным и техническим системам	-	105	-	276,5	132,7	307,3
Всего по жилому дому	-	235	-	1124,8	539,9	1248,1

Также в таблице 6 проведён расчёт суммарной нагрузки для всего многоэтажного жилого здания.

«Расчетная нагрузка уличного освещения прилегающей территории многоэтажного жилого здания» [19]:

$$P_{осв.} = P_{уд.осв.} \cdot S, \text{Вт}, \quad (7)$$

где $P_{уд.осв.}$ – «удельная мощность уличного освещения, Вт/м, [19];

S – освещаемая площадь, м²» [19].

«Реактивная и полная нагрузка уличного освещения» [19]:

$$Q_{осв.} = P_{осв.} \cdot \text{tg } \varphi, \text{вар}, \quad (8)$$

$$S_{осв.} = \sqrt{P_{осв.}^2 + Q_{осв.}^2}, \text{кВА}. \quad (9)$$

Значит, нагрузка уличного освещения дома по условиям (7-9) будет равна:

$$P_{\text{осв.}} = (300 + 200 + 240 + 1000) \cdot 2,5 = 4350 \text{Вт} = 4,35 \text{кВт.}$$

$$Q_{\text{осв.}} = 4,35 \cdot 0,48 = 2,1 \text{квар.}$$

$$S_{\text{п.}} = \sqrt{4,35^2 + 2,1^2} = 4,83 \text{кВА.}$$

Значит, суммарные нагрузки дома [7]:

$$P_{\Sigma} = K_o (\Sigma P_{\text{р.СРШ}} + P_{\text{осв.}}), \text{кВт}, \quad (10)$$

$$Q_{\Sigma} = K_o (\Sigma Q_{\text{р.СРШ}} + Q_{\text{осв.}}), \text{квар}, \quad (11)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \text{кВА}, \quad (12)$$

где « $\Sigma P_{\text{р.СРШ}}$, $\Sigma Q_{\text{р.СРШ}}$, $\Sigma S_{\text{р.СРШ}}$ – соответственно суммарные активные, реактивные и полные силовые нагрузки СРШ дома;

$P_{\text{осв.}}$, $Q_{\text{осв.}}$, $S_{\text{осв.}}$ – соответственно активные, реактивные и полные нагрузки уличного освещения;

K_o – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки» [7].

«Расчёт по (10) – (12)» [7]:

$$P_{\Sigma} = (1124,8 + 4,35) \cdot 0,95 = 1072,7 \text{кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = (539,9 + 2,1) \cdot 0,95 = 514,9 \text{квар},$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{1072,7^2 + 514,9^2} = 1189,9 \text{кВА.}$$

«Полученные результаты применяются в работе далее при выборе трансформаторов, аппаратов и проводников» [7] в системе электроснабжения жилого многоквартирного дома.

2.2 Расчет токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения жилого многоквартирного дома представляет собой ключевую процедуру, направленную на обеспечение безопасности и надёжности функционирования электрической сети» [12].

Этот процесс позволяет определить максимально возможные токи, которые могут возникнуть при возникновении короткого замыкания в различных точках системы электроснабжения.

«Знание этих параметров необходимо для правильного выбора и настройки защитного оборудования, включая автоматические выключатели и устройства защитного отключения, чтобы минимизировать риск возникновения пожара или поражения людей электрическим током» [12].

Технически правильное понимание потенциальных «токов короткого замыкания (далее – КЗ)» [12] способствует также оптимизации конструкции электрической сети с точки зрения её экономичности и эффективности, учитывая требования к минимальным потерям мощности и обеспечению качества электроэнергии.

Таким образом, процедура расчёта является фундаментальной для проектирования системы электроснабжения, гарантируя её соответствие современным стандартам безопасности и эффективности.

«В работе исходная схема предполагает расчёт токов КЗ в трёх расчётных точках:

- на выводах силового трансформатора 10 кВ (расчётная точка К1);
- на выводах обмотки 0,4 кВ силового трансформатора (расчётная точка К2);
- в конце участка 0,4 кВ распределительной сети (расчётная точка К2¹).

Таким образом, в работе определяются максимально возможные параметры аварийного режима, которые далее будут использованы при

проверке коммутационных и защитных аппаратов системы электроснабжения многоэтажного жилого здания.

По данным расчётной схемы, определяются параметры её элементов.

Базисные напряжения принимаются с учётом повышенного напряжения на шинах питающей ТП-10/0,4 кВ» [12]:

$$U_{61} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.ВН}}, \text{ кВ}, \quad (13)$$

$$U_{61} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ},$$

$$U_{62} = 0,4 \text{ кВ}.$$

«Значение базисного тока принимается с учётом базисного напряжения и мощности» [12]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}}, \text{ А}, \quad (14)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,9 \text{ А}.$$

«Расчетная схема сети для расчёта токов трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого системе электроснабжения дома, представлена на рисунке 5а.

Схема замещения сети для расчёта токов трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого системе электроснабжения дома представлена на рисунке 5б» [12].

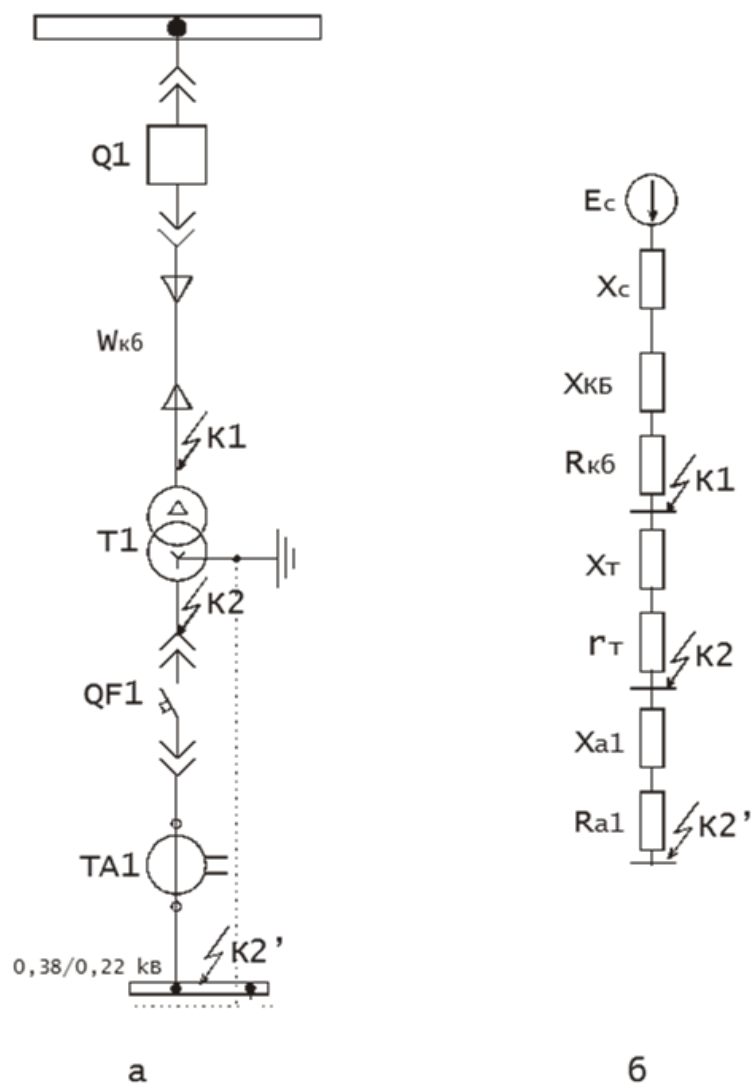


Рисунок 5 – «Схемы сети для расчёта токов трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого дома» [12]:
 а – расчетная схема сети; б – схема замещения сети

Активные и индуктивные сопротивления энергосистемы [9]:

$$x_{c*} = \frac{I_6}{I_{п.о}^{(3)}}, \text{о.е.}, \quad (15)$$

$$x_{c*} = \frac{54,9}{9450} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ о.е.}$$

Активные и индуктивные сопротивления кабельной линии электропередачи, питающей ТП-10/0,4 кВ [12]:

$$x_{*кб1} = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.}, \quad (16)$$

$$r_{*кб1} = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.} \quad (17)$$

«Для питающей КЛ-10 кВ» [12]:

$$x_{*кб1} = 0,083 \cdot 0,05 \frac{1}{10,5^2} = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ о.е.},$$

$$r_{*кб1} = 0,625 \cdot 0,05 \frac{1}{10,5^2} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ о.е.}$$

«Активные и индуктивные сопротивления силового трансформатора» [12]:

$$r_{*Т} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.Т}}, \text{ о.е.}, \quad (18)$$

$$x_{*Т} = \sqrt{u_{к*}^2 - r_{*Т}^2}, \text{ о.е.} \quad (19)$$

Активные и индуктивные сопротивления трансформатора:

$$r_{*Т} = \frac{5,5}{1000} = 0,0055 \text{ о.е.},$$

$$x_{*Т} = \sqrt{0,01^2 - 0,0055^2} = 0,0537 \text{ о.е.}$$

«Суммарное сопротивление к точке К1, учитывая значения активных и индуктивных сопротивлений» [12]:

$$x_{\Sigma K1} = x_C + x_{K61}, \text{ о.е.}, \quad (20)$$

$$x_{\Sigma K1} = 0,0058 + 0,00024 = 0,00604 \text{ о.е.},$$

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{x_{\Sigma K1}^2 + r_{\Sigma K1}^2}, \text{ о.е.}, \quad (21)$$

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{0,00604^2 + 0,0018^2} = 0,0063 \text{ о.е.}$$

«Аналогично к точке К2, учитывая значения активных и индуктивных сопротивлений» [12]:

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K1} + x_T, \text{ о.е.}, \quad (22)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,0063 + 0,0537 = 0,06 \text{ о.е.},$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{K61} + r_T, \text{ о.е.}, \quad (23)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0018 + 0,0121 = 0,0139 \text{ о.е.}$$

«При приведении к базисным условиям схемы замещения, учитывая значения активных и индуктивных сопротивлений» [12]:

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом}, \quad (24)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,06 \cdot \frac{0,4^2}{1} = 0,0096 \text{ Ом},$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом}, \quad (25)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0139 \cdot \frac{0,4^2}{1} = 0,0022 \text{ Ом},$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}, \quad (26)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,0096^2 + 0,0022^2} = 0,0098 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление к точке K2', при учёте активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения» [12]:

$$r_{\Sigma K2'} = r_{\Sigma K2} + r_{a1}, \text{ о.е.}, \quad (27)$$

$$r_{\Sigma K2'} = 0,0022 + 0,00014 = 0,0023 \text{ Ом,}$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{r_{\Sigma K2'}^2 + X_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом,} \quad (28)$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{0,0096^2 + 0,0023^2} = 0,0099 \text{ Ом.}$$

«Ток трехфазного КЗ в точке K1» [12], при учёте суммарных активных и индуктивных сопротивлений:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{61}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}^*}, \text{ кА,} \quad (29)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{54,9}{0,0063} = 8714,3 \text{ А} = 8,71 \text{ кА.}$$

Аналогично в точках K2, K2' [12]:

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K.i}}, \text{ кА,} \quad (30)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0098} = 11,8 \text{ кА,}$$

$$I_{K2'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0099} = 11,78 \text{ кА.}$$

«Ударный ток» [12]:

$$i_{y.K.i} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K,i}^{(3)}, \text{ кА}, \quad (31)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [12].

Значение ударного тока, определённое в расчётных точках схемы, при учёте активных и индуктивных сопротивлений, а также ударных коэффициентов в сети 10 кВ и 0,4 кВ:

$$i_{y.K1} = \sqrt{2} \cdot 1,48,71 = 17,24 \text{ кА}.$$

$$i_{y.K2} = \sqrt{2} \cdot 1,111,8 = 18,36 \text{ кА}.$$

$$i_{y.K2'} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 11,78 = 17,49 \text{ кА}.$$

Результаты расчёта токов КЗ представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчета тока КЗ

Расчётная точка КЗ	$I^{(3)}$, кА	k_y	i_y , кА
K1	8,71	1,40	14,24
K2	11,80	1,10	18,36
K2'	11,78	1,05	17,49

Полученные в работе результаты токов КЗ используются в работе далее для выбора и проверки аппаратов схемы системы электроснабжения дома.

Выводы по разделу.

В работе рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в сети 10 кВ и 0,4 кВ многоквартирного жилого дома. Полученные результаты используются в работе далее.

3 Выбор и проверка трансформаторов, проводников и аппаратов

3.1 Проверка трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ

На сегодняшний день «на питающей ТП-10/0,4 кВ жилого дома установлены два силовые трансформаторы марки ТМГ-1000/10» [14].

Ранее в работе определено, что необходимо провести модернизацию и обновление схемы распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения.

Таким образом, повысится нагрузка питающей ТП-10/0,4 кВ. Поэтому проверка мощности установленных на ней силовых трансформаторов, актуальна.

Номинальная «мощность силовых трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ дома» [14]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_p}{N\beta_t}, \text{ кВА}, \quad (32)$$

где « N – число силовых трансформаторов, рекомендованных к установке на подстанции, шт.;

β_t – коэффициент загрузки силовых трансформаторов, о.е.» [14]

Согласно (32):

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1072,7}{2 \cdot 0,8} = 670,4 \text{ кВА}.$$

Исходя из «результатов расчёта, на питающей ТП-10/0,4 кВ дома, предварительно подтверждается рациональная установка на подстанции двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10» [17].

«При этом действительные значения коэффициентов загрузки силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах» [14]:

$$K_3^H = \frac{\Sigma S_p}{S_{\text{ном.тр.}} \cdot N}, \quad (33)$$

$$K_3^{\text{п.ав.}} = \frac{\Sigma S_p}{S_{\text{ном.тр.}} (N-1)}, \quad (34)$$

где « ΣS_p – расчетная полная нагрузка дома, кВА» [14].

«Полученные коэффициенты не должны превышать значений» [14]:

$$K_3^H \leq 0,9; K_3^{\text{п.ав.}} \leq 1,5. \quad (35)$$

По выражениям (33) и (34):

$$K_3^H = \frac{1189,9}{1000 \cdot 2} = 0,59,$$

$$K_3^{\text{п.ав.}} = \frac{1189,9}{1000 \cdot (2-1)} = 1,19.$$

«Условия проверок выполняются» [14]:

$$0,59 < 0,9,$$

$$1,19 < 1,5.$$

Известно, что наибольшее значение реактивная мощность оказывает влияние на сеть 0,4 кВ.

Исходя из того, что в системе электроснабжения жилого дома присутствуют потребители реактивной мощности (в основном, в среде коммерческих потребителей), необходимо проверить систему

электроснабжения дома на уровень допустимой загрузки реактивной мощностью.

«В случае недопустимой загрузки реактивной мощностью питающей сети дома, необходимо выбрать компенсирующие устройства 0,4 кВ для установки на секциях сборных шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ» [8] объекта исследования. Таким образом, будет компенсирована мощность всех потребителей сети 0,4 кВ жилого дома.

«Расчётная реактивная мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ» [8]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{ном.Т})^2 - P_p^2}, \quad (36)$$

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

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [8].

«Расчётная мощность конденсаторных установок (КУ)» [8]:

$$Q_{н.к} = Q_p - Q_T, \quad (37)$$

где « Q_p – расчётная реактивная нагрузка системы электроснабжения дома, квар» [14].

«Суммарная расчетная мощность КУ в системе электроснабжения» [8] объекта исследования:

$$Q_{КУ} = n \cdot Q_{н.к}. \quad (38)$$

В случае выбора КУ, необходимо пересчитать входную полную нагрузку системы электроснабжения дома [8]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{КУ})^2}. \quad (39)$$

Кроме того, в случае выбора КУ, также необходимо пересчитать фактические «коэффициенты загрузки силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0, кВ системы электроснабжения» [8] дома:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,85, \quad (40)$$

$$K_3^{\text{п.ав}} = \frac{S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 1,7. \quad (41)$$

Расчёт необходимости и целесообразности установки и выбора КУ в системе электроснабжения дома по условиям (35) и (36):

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1000)^2 - 1072,2^2} = 1187,5 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{н.к}} = 514,9 - 1187,2 = -672,3 \text{ квар.}$$

Установлено, что компенсировать реактивную нагрузку потребителей активно-индуктивных потребителей системы электроснабжения дома путём «установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ» [14], нет необходимости.

3.2 Выбор и проверка проводников многоэтажного жилого дома

Согласно требованиям и нормам [9], для электроснабжения жилых объектов допускается применять только изолированные проводники.

В результате анализа исходных данных существующей системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, было установлено следующее:

- питающая сеть жилого дома требует технических решений по модернизации, заключающихся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120);
- все существующие проводники распределительной сети 0,38/0,22 кВ жилого дома – новые и современные, они были полностью заменены в 2016 году, поэтому на сегодняшний день в модернизации не нуждаются.

Таким образом, в работе для решения поставленных задач необходимо провести:

- модернизацию питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающуюся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120);
- выбор кабельных линий распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения;
- проверку остальных технических решений по проводникам, не относящимся к модернизации.

«Ток КЛ в нормальном режиме» [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (42)$$

«Максимальный ток КЛ в послеаварийном режиме» [11]:

$$I_{p.маx} = 1,4I_{p.маx} \quad (43)$$

«Проверка КЛ по условию нагрева» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.маx} \quad (44)$$

где « $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток КЛ, А;

$I_{\text{р.маx}}$ – максимальный ток сети, А» [3].

«Выбор КЛ-10 кВ» [11]:

$$F_3 = \frac{I_{\text{р.}}}{j_3}. \quad (45)$$

«Расчётный ток» [14] КЛ-10 кВ:

$$I_{\text{р.}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А.}$$

Расчётное сечение КЛ-10 кВ:

$$F_3 = \frac{57,8}{1,6} = 36,1 \text{ мм}^2.$$

Для КЛ-10 кВ подтверждается марка и сечение кабеля АСБл-10 (3×35) с $I_{\text{доп}}=145 \text{ А}$ [3].

Далее выполняется проверка данного сечения КЛ-10 кВ.

По (43):

$$I_{\text{р.маx}} = 1,4 \cdot 57,8 \approx 80,92 \text{ А.}$$

По (44):

$$145 \text{ А} \geq 80,92 \text{ А.}$$

Значит, сечение КЛ-10 кВ питающей сети 10 кВ дома выбрано верно.

Далее выбираются кабели 0,4 кВ (далее – КЛ-0,4 кВ) питающей и распределительной сетей системы электроснабжения дома:

$$K_{\text{общ.}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (46)$$

$$K_{\text{общ.}} = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,9.$$

Проверка КЛ-0,4 кВ в нормальном режиме работы [11]:

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p^H, \text{ А.} \quad (47)$$

Значение расчетного тока КЛ-0,4 кВ в нормальном режиме работы:

$$I_p^H = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot n}, \text{ А,} \quad (48)$$

где n – число кабелей в КЛ-0,4 кВ, шт.

Допустимый ток КЛ-0,4 кВ с учётом отклонений от условий среды и прокладки:

$$I'_{\text{доп}} \geq K_{\text{общ.}} \cdot I_{\text{доп}}, \text{ А,} \quad (49)$$

где $K_{\text{общ.}}$ – «суммарный поправочный коэффициент;

$I_{\text{доп}}$ – длительный допустимый ток КЛ-0,4 кВ, А» [11].

Для новой КЛ-0,4 кВ ВРУ-0,4 кВ дома после её модернизации по (48):

$$I_p^H = \frac{1189,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 2} = 903,9 \text{ А.}$$

Для КЛ-0,4 кВ ВРУ-0,4 кВ принят кабель 0,4 кВ АВБШПнг 5×185 [3].

$$3 \cdot 365 \cdot 0,9 = 931,5 \text{ A} \geq 903,9 \text{ A}.$$

Следовательно, для КЛ-0,4 кВ ВРУ-0,4 кВ дома окончательно принят новый кабель сечением 185 мм². В КЛ-0,4 кВ данной линии – 2 таких кабеля. Каждый из них питает свой трансформатор ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ. Способ прокладки кабельной линии остаётся без изменения – в «земляной траншее». Аналогичные расчеты проведены для остальных линий 0,38/0,22 кВ объекта и результаты представлены в таблице 8» [14].

Таблица 8 – Выбор кабелей 0,38/0,22 кВ

Номер потребителя	n, шт	I _р ^н , А	I _{доп} , А	Сечение КЛ-0,4 кВ, мм ²
Питающая КЛ-0,4 кВ	2	903,9	931,5	185
Коммерческие помещения				
1	1	71,6	77,4	10
2	1	67,5	77,4	10
3	1	202,2	227,7	70
Жилищный фонд				
4	1	278,0	312,3	120
5	1	284,4	312,3	120
6	1	202,2	227,7	70
7	1	171,8	184,5	50
8	1	151,6	155,7	35
Инженерные и технические системы				
9	1	57,0	58,6	6
10	1	34,2	36,0	4
11	1	166,8	184,5	50
12	1	22,8	36,0	16
13	1	66,3	75,2	10
14	1	9,1	36,0	2,5
15	1	55,8	56,0	6
16	1	56,6	58,0	6
17	1	22,8	36,0	6
18	1	3,9	36,0	2,5
19	1	39,5	46,8	4
20	1	8,4	36,0	2,5
21	1	9,1	36,0	2,5
22	1	3,9	36,0	2,5
23	1	20,0	36,0	2,5
24	1	8,4	36,0	2,5

Результаты выбора кабельных линий 0,4 кВ дома представлены в графической части работы.

3.3 Выбор электрических аппаратов многоэтажного жилого дома

При определении параметров электрических аппаратов для многоэтажного жилого дома осуществляется комплексный подход, ориентированный на обеспечение высокой степени безопасности, надежности и энергоэффективности системы электроснабжения.

В процессе выбора учитывается необходимость соответствия аппаратуры требованиям действующих норм и правил в области электробезопасности, а также спецификации конкретного объекта с учетом его технических и эксплуатационных характеристик.

Особое внимание уделяется аспектам, связанным с возможными режимами перегрузок и коротких замыканий, что предполагает выбор аппаратов с оптимальными техническими параметрами, способными эффективно функционировать в данных условиях.

Кроме того, важным фактором является интеграция системы электроснабжения с современными технологиями управления и мониторинга, обеспечивающими повышенный контроль за эксплуатацией оборудования и улучшение показателей энергоэффективности.

Таким образом, процесс выбора электрических аппаратов требует глубокого анализа технических возможностей оборудования и его соответствия комплексу требований, предъявляемых к современным системам электроснабжения многоэтажных жилых домов.

«Проводится выбор электрических аппаратов для установки на ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ системы электроснабжения дома.

Электрические аппараты (ЭА) напряжением выше 1 кВ выбираются по следующим основным отношениям:

- по номинальному напряжению сети и максимальному рабочему напряжению сети, в которую он устанавливается» [13]:

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}, \text{кВ}, \quad (49)$$

где $U_{\text{ном.а}}$ – «номинальное значение напряжения электрического аппарата, кВ;

$U_{\text{ном.с}}$ – максимальное рабочее напряжение электрической сети, кВ» [13];

– «по номинальному току аппарата и максимальному рабочему току сети» [13]:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р}}, \text{А}, \quad (50)$$

где $I_{\text{ном.а}}$ – «номинальный ток высоковольтного аппарата;

$I_{\text{р}}$ – расчётный максимальный рабочий ток» [13].

«Проверка на коммутационную отключающую способность» [13]:

$$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{к}}, \text{кА}. \quad (51)$$

«Проверка на термическую и электродинамическую стойкость к токам КЗ» [13]:

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}, \text{А}. \quad (52)$$

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{к}}^2 t, \text{А}^2 \cdot \text{с}. \quad (53)$$

«Для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ многоэтажного жилого здания на стороне 10 кВ РП-10 кВ, который питает ТП-10/0,4 кВ жилого дома, предлагается установить современный выключатель вакуумного типа марки ВВ/TEL-10-20/1000» [10].

По условиям (49) – (53):

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

$$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 80,8 \text{ А.}$$

$$I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА} > I_{\text{к1}} = 8,71 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{пр.скв}} = 20 \text{ кА} > i_{\text{ук1}} = 14,24 \text{ кА.}$$

«Таким образом, окончательно принимается в схеме электроснабжения многоэтажного жилого здания два выключателя марки ВВ/TEL-10-20/1000 (производитель – фирма «Таврида Электрик»»)» [10].

Результаты выбора измерительных трансформаторов тока представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора измерительных трансформаторов тока

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 80,8 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 100 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 14,24 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,71^2 \cdot 3 =$ $= 227,6 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Для защиты в сети 10 кВ выбраны выключатели нагрузки (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты выбора выключателей нагрузки

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Выключатели нагрузки ВНПу-10/ 250-10-УЗ	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 80,8 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 250 \text{ А.}$
	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}$	$I_{\text{п.т}} = 8,71 \text{ кА.}$	$I_{\text{отк.ном}} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 14,24 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,71^2 \cdot 3 =$ $= 227,6 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

В результате анализа исходных данных существующей системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, было установлено следующее:

- аппараты питающей сети жилого дома требует технических решений по модернизации, заключающихся в замене устаревших и износившихся автоматов марки АЕ;
- все существующие аппараты распределительной сети 0,38/0,22 кВ жилого дома – новые и современные, они были полностью заменены в 2016 году, поэтому на сегодняшний день в модернизации не нуждаются.

Таким образом, в работе для решения поставленных задач необходимо провести:

- модернизацию аппаратов питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающуюся в замене устаревших и износившихся автоматов марки АЕ, на современные автоматы;
- выбор автоматов для защиты и коммутации распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения;
- проверку остальных технических решений по выбору аппаратов, не относящимся к модернизации.

В СЭС многоквартирного жилого дома для защиты линий питающей сети 0,4 кВ после модернизации рекомендовано применить автоматические выключатели (автоматы) типа Siemens SENTRON [2].

Выбор автоматов осуществляется по условию:

$$I_{\text{ном. расц}} > I_p, \text{ А}, \quad (54)$$

где « I_p – максимальный рабочий ток» [15].

Проверяется номинальный ток полупроводникового расцепителя автомата (расцепителя мгновенного действия):

$$I_{н.р.}, A \geq I_{раб.макс}, A. \quad (55)$$

Определяется ток срабатывания МТЗ (в зоне токов перегрузки) теплового расцепителя выключателя:

$$I_{с.п.р} = 1,25 \cdot I_{н.р}, A. \quad (56)$$

Проверяется чувствительность МТЗ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}2}^{(2)}}{I_{\text{с.п.р}}} \geq 2, \quad (57)$$

«Условие проверки по динамической стойкости» [13]:

$$i_{\text{дин.}} > i_{\text{уд.}}, A. \quad (58)$$

«Наименьшая предельная коммутационная способность выбранных автоматических выключателей 135 кА, что явно больше максимального тока трехфазного КЗ, поэтому данную проверку для автоматов в работе проводить не обязательно» [2] (в виду незначительных токов КЗ).

Следовательно, для выбора автоматических воздушных выключателей проведены все требуемые проверки, в результате которых установлено то, что все автоматы выбраны верно.

Результаты выбора новых автоматов питающей сети 0,4 кВ и проверки существующих автоматов распределительной сети 0,4 кВ, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора новых автоматов питающей сети 0,4 кВ и проверки существующих автоматов распределительной сети 0,4 кВ

Потребитель	I_p , А	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А	$I_{в.а.}$, кА
Автоматы ввода						
Вводной автомат ТП-10/0,4 кВ	903,9	Siemens SENTRON VL1600	1600	1600	4800	45
Вводной автомат ВРУ-0,4 кВ	691,5	Siemens SENTRON VL1000	1000	800	2400	45
Коммерческие помещения						
1	71,6	Siemens SENTRON VL100	100	100	300	45
2	67,5	Siemens SENTRON VL100	80	80	240	45
3	202,2	Siemens SENTRON VL250	250	250	750	45
Жилищный фонд						
4	278,0	Siemens SENTRON VL400	400	350	1050	45
5	284,4	Siemens SENTRON VL400	400	350	1050	45
6	202,2	Siemens SENTRON VL250	250	250	750	45
7	171,8	Siemens SENTRON VL200	200	200	600	45
8	151,6	Siemens SENTRON VL200	200	200	600	45
Инженерные и технические системы						
9	57,0	Siemens SENTRON VL80	80	80	240	45
10	34,2	Siemens SENTRON VL50	50	50	150	45
11	166,8	Siemens SENTRON VL250	250	200	600	45
12	22,8	Siemens SENTRON VL32	32	32	96	45
13	15,2	Siemens SENTRON VL25	25	25	75	45
14	9,1	Siemens SENTRON VL16	16	16	48	45
15	22,8	Siemens SENTRON VL32	32	32	96	45
16	22,8	Siemens SENTRON VL32	32	32	96	45
17	22,8	Siemens SENTRON VL32	32	32	96	45
18	3,9	Siemens SENTRON VL10	10	10	30	45
19	39,5	Siemens SENTRON VL50	50	50	150	45
20	8,4	Siemens SENTRON VL16	16	16	48	45
21	9,1	Siemens SENTRON VL16	16	16	48	45
22	3,9	Siemens SENTRON VL10	10	10	30	45
23	20,0	Siemens SENTRON VL25	25	25	75	45
24	8,4	Siemens SENTRON VL16	16	16	48	45

«Выбор однофазных автоматов распределительной сети 0,38/0,22 кВ многоэтажного дома» [13] проведен аналогично.

Выводы по разделу.

Исходя из результатов расчёта, на питающей ТП-10/0,4 кВ дома, окончательно подтверждена установка двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10. Установлено, что компенсировать реактивную нагрузку потребителей активно-индуктивных потребителей системы

электроснабжения дома путём установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, нет необходимости.

В работе для решения поставленных задач проведено:

- модернизация питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающаяся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) на современные кабели марки АВБШПнг 5×185;
- выбор трёхжильных кабелей марки АВБШПнг распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения;
- проверка остальных технических решений по проводникам, не относящимся к модернизации, в результате чего для питающей КЛ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ подтверждена марка и сечение кабеля АСБл-10 (3×35), а также подтверждены все сечения кабельных линий распределительной сети 0,4 кВ существующих потребителей.

Для решения поставленных задач проведены следующие мероприятия с получением таких результатов:

- модернизация аппаратов питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающаяся в замене устаревших и износившихся автоматов марки АЕ, на современные автоматы марки Siemens SENTRON;
- выбор автоматов для защиты и коммутации распределительной сети 0,38/0,22 кВ;
- проверку остальных технических решений по выбору аппаратов.

4 Модернизация систем учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты и автоматики

4.1 Модернизация систем учёта и контроля электроэнергии

В системе электроснабжения многоэтажного жилого здания необходимо установить новую современную систему контроля и управления электроэнергией, которая должна отвечать современным критериям по надёжности, автоматизации, безопасности, оперативности, быстрдействию и ряду других важнейших параметров.

Для решения поставленной задачи, выбирается «АСКУЭ на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М. Конструктивное выполнение и основной функционал современных программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М представлены на рисунке 6» [1].



Рисунок 6 – «Конструктивное выполнение программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М» [1]

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), реализованная на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М, представляет собой высокотехнологичное решение для точного и надёжного измерения потребления электроэнергии. Эти устройства обладают рядом существенных особенностей и преимуществ, которые делают их важным элементом в современных энергетических системах.

Счётчики ЦЭ6823М отличаются высокой точностью измерений, что обусловлено применением передовых электронных компонентов и программного обеспечения. Точность измерений критически важна для обеспечения справедливого расчёта затрат на электроэнергию как для потребителей, так и для поставщиков услуг.

Ключевой особенностью счётчиков ЦЭ6823М является их программируемость. Это позволяет настраивать устройства для работы в различных режимах, в зависимости от требований конкретной энергетической системы. Программируемость также способствует легкой интеграции счётчиков в АСКУЭ, где требуется сбор данных в реальном времени и их последующий анализ.

Электронные счётчики ЦЭ6823М также обладают функциями дистанционного считывания и управления, что значительно упрощает процессы мониторинга и администрирования энергопотребления без необходимости физического доступа к устройствам. Это обеспечивает более высокую эффективность управления энергоресурсами и позволяет оперативно реагировать на изменения в потреблении.

Важным преимуществом счётчиков является их способность к многосторонней коммуникации, что позволяет интегрировать устройства в сложные многоуровневые системы учета и управления, обеспечивая обмен данными между различными устройствами и системами внутри энергосети.

«Функциональная схема АСКУЭ типичного объекта многоэтажного жилого здания представлена на рисунке 7» [1].

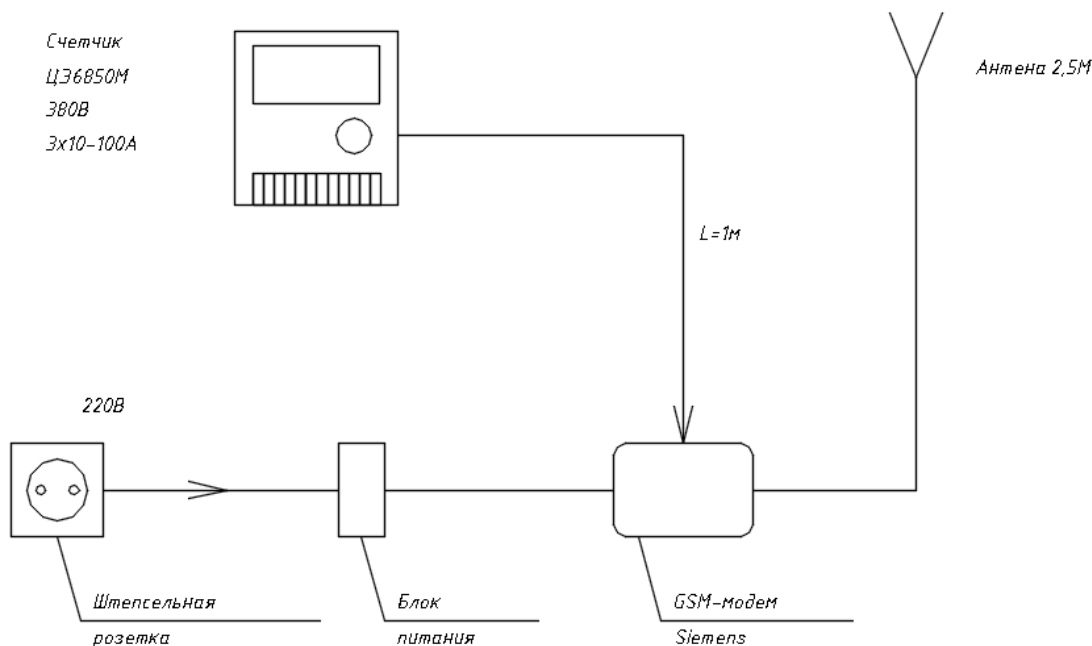


Рисунок 7 – «Функциональная схема АСКУЭ типичного объекта многоэтажного жилого здания» [1]

«Структурная схема АСКУЭ многоэтажного жилого здания представлена на рисунке 8» [1].

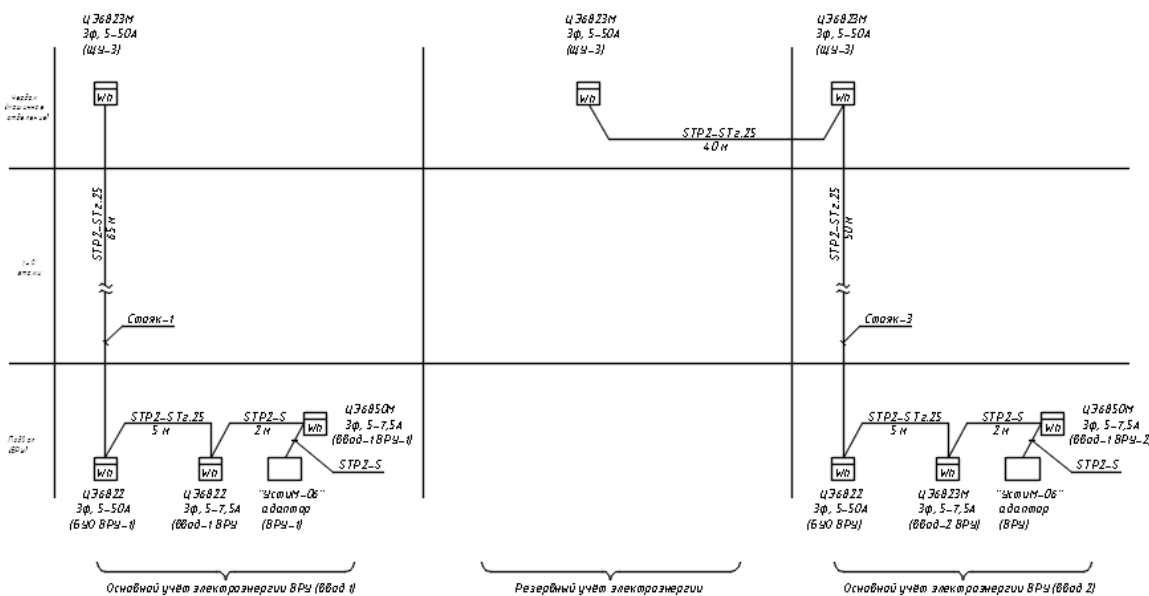


Рисунок 8 – «Структурная схема АСКУЭ многоэтажного жилого здания» [1]

Следовательно, счётчики ЦЭ6823М в рамках системы АСКУЭ способствуют повышению прозрачности, эффективности и экономической выгоды в управлении потреблением электроэнергии, что делает их

неотъемлемым инструментом в современных энергетических инфраструктурах.

«Таким образом, выбор АСКУЭ на базе трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М оправдывается вышеуказанными преимуществами, обеспечивая более эффективное, гибкое и интеллектуальное управление электроэнергией в многоэтажных жилых комплексах» [1], в том числе, и в модернизируемой СЭС жилого многоквартирного дома.

4.2 Модернизация системы релейной защиты

В системе электроснабжения многоэтажного жилого здания необходимо установить новые современные устройства релейной защиты и автоматики, которые должны отвечать современным критериям по надёжности, селективности, быстродействию, безопасности и ряду других важнейших параметров.

«Устройства релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения многоэтажного жилого здания устанавливаются на питающем РП-10 кВ на высоковольтных выключателях, выбранных в работе ранее.

На вводных присоединениях систем электроснабжения гражданских сооружений, в системе электроснабжения многоэтажного жилого здания должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита линий (ДЗЛ) – является основной РЗиА линий и присоединений от внешних токов короткого замыкания, образует двухступенчатую защиту (вместе с МТЗ), устанавливается на всех присоединениях (вводных, линейных и секционных);
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой линий и присоединений от внутренних и внешних коротких замыканий, является вместе с ДЗЛ основной двухступенчатой защитой, перекрывая «мёртвую зону» ДЗЛ;

- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает линии и присоединения от коротких замыканий на землю.

Все принятые в работе дополнительные виды РЗиА при их внедрении способны значительно повысить надёжность релейной защиты, её быстродействие, селективность (избирательность), что в конечном итоге позволит значительно снизить риск аварий в схеме главных электрических соединений всей системы электроснабжения дома» [11].

«Для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения дома, применяется микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линии марки СИРИУС-2-ОМП.

Такие блоки РЗиА марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надёжность: блоки релейной защиты марки СИРИУС-2-ОМП разработаны с учетом высокой степени надёжности для обеспечения защиты линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстродействие: блоки РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях линий, что позволяет предотвратить их повреждения оборудования и обеспечить безопасность работы всей энергосистемы;
- доступная ценовая категория, значительно меньшая стоимость, чем аналогичных продуктов других компаний;
- простота и удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, доступный интерфейс, что упрощает их установку и обслуживание, а также настройку параметров и уставок срабатывания.

Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков марки СИРИУС-2-ОМП представлены в работе на рисунке 9» [18].



Рисунок 9 – «Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП для защиты линий 10 кВ системы электроснабжения жилого дома» [18]

«Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения» [18] дома, обоснован.

Выводы по разделу.

В результате модернизации системы учёта и контроля электроэнергии многоквартирного жилого дома, выбрана АСКУЭ на базе трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М. Такая система полностью подходит для установки и использования на объекте исследования.

В качестве рациональной системы «релейной защиты и автоматики для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения жилого дома, обосновано применение микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП» [18].

Все принятые решения подтверждены техническими расчётами.

Далее в работе, для полного обоснования предложенного проекта, проводится экономический расчёт.

5 Экономическое обоснование принятых решений

В результате выполнения технической части работы, разработан и предложен проект модернизации системы электроснабжения многоэтажного жилого здания.

Для окончательного обоснования принятых в работе решений, необходимо провести также экономический расчёт с определением капитальных затрат, издержек и срока окупаемости разработанного проекта.

Исходными данными для проведения экономического расчёта в работе являются следующее выбранное электрооборудование для применения в системе электроснабжения многоэтажного жилого здания.

Для удобства исходные данные сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Исходные данные для экономического расчёта

Оборудование	Марка	Количество	Примечание
Силовой трансформатор	ТМГ-1000/10	2 шт.	На питающей ТП-10/0,4 кВ
Питающая КЛ-10 кВ	АСБл-10 (3×35)	2 шт.	Длина – 50 м
Питающая КЛ-0,4 кВ	АВБШПнг 5×185	2 шт.	-
Распределительные КЛ-0,4 кВ	ВВГнг-LS (ВВГнгFRLS)	24 шт.	Суммарная длина - 14,9 км
Электрические аппараты 10 кВ	ВВ/TEL-10-20/1000, ПК103-10-100-31,5/У3, ТПОЛМ-10, ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1, ВНПу-10/250-10-У3	22 шт.	-
Электрические аппараты 0,4 кВ	Автоматы ВА	52 шт.	-

На основании данных таблицы 12, далее проводится расчёт экономических показателей и оценка разработанного проекта системы электроснабжения дома.

При расчёте капитальных затрат на реализацию проекта системы электроснабжения многоэтажного жилого здания, проводится систематизация принятого электрооборудования, исходя из его типа, назначения и расположения в схеме.

Все «экономические расчёты проводятся по укрупнённым экономическим показателям. Данные по стоимости электрооборудования приняты, исходя из данных каталогов заводов-изготовителей соответствующей продукции» [15].

Таким образом, суммарная величина капитальных затрат на реализацию проекта системы электроснабжения многоэтажного жилого здания в работе определяется по следующему выражению [15]:

$$K = K_{\text{ТП}} + K_{\text{С}} + K_{\text{А}}, \quad (59)$$

где $K_{\text{ТП}}$ – капиталовложения в питающую ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения многоэтажного жилого здания;

$K_{\text{С}}$ – капиталовложения в электрические сети системы электроснабжения многоэтажного жилого здания;

$K_{\text{А}}$ – капиталовложения в электрические аппараты 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15].

«Капиталовложения в питающую ТП-10/0,4 кВ дома» [15]:

$$K_{\text{ТП}} = C_{\text{осн.}} \cdot n + M_{\text{н}} + N_{\text{р}}, \quad (60)$$

где n - «количество единиц оборудования, шт.;

$C_{\text{осн}}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

$M_{\text{н}}$ - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

$N_{\text{р}}$ - накладные расходы, тыс. руб.» [15].

С учётом накладных и транспортных расходов [15]:

$$M_H = 0,3C_{\text{осн}}, \quad (61)$$

$$H_p = 0,1C_{\text{осн}}. \quad (62)$$

Результаты расчёта стоимости оборудования питающей ТП-10/0,4 кВ сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты расчета стоимости оборудования питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения многоэтажного жилого здания

Тип (марка) электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Силовой трансформатор ТМГ-1000/10	2	320,0	640,0
Шкаф РУ-10 кВ (без оборудования)	2	50,0	100,0
Шкаф РУ-0,4 кВ (без оборудования)	3	20,0	40,0
АСКУЭ со счётчиками ЦЭ6823М	2	40,0	80,0
РЗиА терминалы «Сириус-2Л-02»	2	40,0	80,0
Итого:	11	-	940,0

«Капиталовложения в питающую ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$K_{\text{ТП}} = 940 + 0,3 \cdot 940 + 0,1 \cdot 940 = 1316 \text{ тыс.руб.}$$

«Капиталовложения в электрические сети системы электроснабжения многоэтажного жилого здания состоят из суммарных капиталовложений в кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,4 кВ» [15]:

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_H + H_p, \quad (63)$$

где l_C - длина кабеля электрической сети, км;

C_C - стоимость 1 км кабеля электрической сети, тыс. руб.

Результаты расчета стоимости электрических сетей системы электроснабжения многоэтажного жилого здания сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты расчета стоимости электрических сетей системы электроснабжения многоэтажного жилого здания

Марка силового кабеля	Длина кабеля, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
АСБл-10 (3×35)	0,10	500,0	50,0
АВБШПнг 5×185	0,30	300,0	100,0
ВВГнгLS 5×2,5	0,35	164,0	57,4
ВВГнгLS 5×4	0,10	198,0	19,8
ВВГнгLS 5×6	0,20	226,0	45,2
ВВГнгLS 5×10	0,15	264,0	39,6
ВВГнгLS 5×16	0,10	298,0	29,8
ВВГнгLS 5×35	0,10	345,0	34,5
ВВГнгLS 5×50	0,10	384,0	38,4
ВВГнгLS 5×70	0,10	416,0	41,6
ВВГнгLS 5×120	0,10	512,0	51,2
ВВГнгLS 3×2,5	5,2	116,0	603,2
ВВГнгLS 3×4	3,8	131,0	497,8
ВВГнгLS 3×6	2,6	164,0	426,4
ВВГнгLS 3×10	1,2	192,0	230,4
ВВГнгLS 3×16	0,8	224,0	179,2
Итого:	14,9	-	2294,5

«Капиталовложения в электрические сети системы электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$K_C = 2294,5 + 0,3 \cdot 2294,5 + 0,1 \cdot 2294,5 \approx 3212,4 \text{ тыс.руб.}$$

«Капиталовложения в электрические аппараты системы электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$K_A = C_{\text{осн.}} \cdot n + M_n + N_p, \quad (64)$$

где n - «количество единиц оборудования, шт.;

$C_{\text{осн}}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

N_p - накладные расходы, тыс. руб.» [15].

Результаты расчета стоимости электрических аппаратов системы электроснабжения жилого здания сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты расчета стоимости электрических аппаратов системы электроснабжения многоэтажного жилого здания

Марка (тип) электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Выключатель ВВ/TEL-10-20/1000	2	320,0	640,0
Трансформатор тока ТПОЛМ-10	6	40,0	240,0
Выключатель нагрузки ВНПу-10/250-10-УЗ	2	56,0	112,0
Предохранитель плавкий ПК103-10-100-31,5/УЗ	6	4,0	24,0
Ограничитель перенапряжений КР/TEL-10/12 УХЛ1	6	12,0	72,0
Автоматы (усреднённая стоимость)	52	3,0	156,0
Шкафы (щиты) ВРУ (без оборудования)	1	20,0	20,0
Шкафы ЩАО, ЩРО (без оборудования)	2	10,0	20,0
Шкафы СРШ (без оборудования)	24	8,0	192,0
Итого:	101	-	1476,0

«Капиталовложения в электрические аппараты системы электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$K_A = 1476 + 0,3 \cdot 1476 + 0,1 \cdot 1476 = 2066,4 \text{ тыс.руб.}$$

«Величина суммарных капиталовложений в систему электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$K = 1316 + 3212,4 + 2066,4 = 6594,8 \text{ тыс.руб.}$$

«Расчетная формула эксплуатационных издержек для системы электроснабжения многоэтажного жилого здания включает сумму следующих составляющих» [15]:

$$\text{ЭЗ} = \text{ЗП} + \text{СВ} + \text{А}_o + \text{Р}_{\text{ТО}} + \text{Пр}, \quad (65)$$

где «ЗП – заработная плата, тыс. руб.;

СВ – страховые взносы, тыс. руб.;

А – амортизационные отчисления, тыс. руб.;

Р – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.» [15].

«Зарботная плата за год» [15]:

$$\text{ЗП} = \text{M}_0 \cdot \text{N} \cdot \text{K}_{\text{доп}} \cdot \text{T}, \quad (66)$$

где M_0 – «среднемесячный оклад электротехнического персонала, тыс. руб.;

N – количество оперативно – технических работников, чел.;

$\text{K}_{\text{доп}}$ – коэффициент оплаты труда;

T – число месяцев» [15].

$$\text{ЗП} = 39,431 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 3548,8 \text{ тыс.руб.}$$

«Страховые взносы» [15]:

$$\text{СВ} = 0,309 \cdot \text{ЗП}. \quad (67)$$

$$\text{СВ} = 0,309 \cdot 3548,79 = 1096,6 \text{ тыс.руб.}$$

«Годовые амортизационные отчисления на систему электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$\text{А}_o = \text{K} \cdot \frac{\text{а}}{100}, \quad (68)$$

где «а- годовая норма амортизационных отчислений, %» [15].

$$A_o = 6594,8 \cdot 0,1 \approx 659,5 \text{ тыс.руб.}$$

«Годовые затраты на ремонт и ТО дома» [15]:

$$P_{\text{ТО}} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (69)$$

где r - «годовая норма отчислений на ремонт и ТО, % [15].

$$P_{\text{ТО}} = 6594,8 \cdot 0,03 = 197,8 \text{ тыс.руб.}$$

«Прочие расходы [15]:

$$P_r = 0,01 \cdot \sum K, \quad (70)$$

$$P_r = 6594,8 \cdot 0,01 \approx 65,9 \text{ тыс.руб.}$$

«Суммарные годовые эксплуатационные издержки на систему электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$\text{ЭЗ} = 3548,8 + 1096,6 + 659,5 + 197,8 + 65,9 = 5568,6 \text{ тыс.руб.}$$

«Суммарная стоимость предложенного проекта системы электроснабжения многоэтажного жилого здания» [15]:

$$C = K + \text{ЭЗ}. \quad (71)$$

$$C = 6594,8 + 5568,6 = 12163,4 \text{ тыс.руб.}$$

«Срок окупаемости проекта» [15]:

$$C_o = \frac{C}{3}, \text{ лет,} \quad (72)$$

где «С – суммарная стоимость проекта, р.;

Е – полученный эффект от внедрения нового электрооборудования, р.» [15].

«Полученный эффект от внедрения нового электрооборудования в СЭС объекта» [15]:

$$E = K_{\text{эф}} \cdot K, \text{ лет,} \quad (73)$$

где « $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности капиталовложений в новое электрооборудование» [15].

Следовательно, с учётом 25% экономии ресурсов на монтаж, эксплуатацию и ремонт нового оборудования:

$$E = 0,25 \cdot 6594,8 = 1648,7 \text{ тыс.руб.}$$

$$C_o = \frac{12163,4}{1648,7} \approx 7,38 \text{ лет.}$$

Срок окупаемости проекта составляет 7,38 лет, что соответствует рекомендуемому нормативному сроку окупаемости (не более 8-10 лет), следовательно, проект экономически эффективен [14].

Таким образом, установлено, что срок окупаемости проекта соответствует нормативным показателям, следовательно, разработанный проект модернизации системы электроснабжения многоэтажного жилого здания будет эффективен.

Полученные результаты обуславливают экономическую составляющую работы.

Их предложено принять во внимание.

Выводы по разделу.

Рассчитаны необходимые экономические показатели, необходимые для реализации предложенного проекта модернизации системы электроснабжения многоэтажного жилого здания.

При этом основное внимание уделено расчёту капиталовложений, суммарных эксплуатационных издержек, суммарной стоимости проекта, а также вероятному сроку его окупаемости.

Установлено, что суммарные капиталовложения на реализацию проекта составили 6594,8 тыс. руб., суммарные эксплуатационные издержки составили 5568,6 тыс. руб., а суммарная стоимость проекта – 12163,4 тыс. руб.

Определено, что срок окупаемости проекта составляет 7,38 лет, что соответствует рекомендуемому нормативному сроку окупаемости (не более 8-10 лет), следовательно, предложенный проект модернизации экономически эффективен.

Заключение

В работе выполнена частичная модернизация питающей схемы, а также техническое перевооружение системы электроснабжения многоквартирного жилого дома № 24 в г. Екатеринбург.

В работе проведено описание исходных данных многоквартирного жилого дома №24 в Екатеринбурге. Проведена характеристика технических, схемных, а также климатических и топографических условий объекта исследования.

В результате анализа исходных данных существующей системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, установлено следующее:

- все схемные решения являются рациональными и соответствуют требованиям нормативных документов по надёжности, экономичности, бесперебойности и электробезопасности, поэтому они не требуют изменений;
- установлено, что питающая сеть жилого дома требует технических решений по модернизации, заключающихся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) и вводных и секционных автоматов марки АЕ;
- установлено, что всё оборудование распределительной сети 0,38/0,22 кВ жилого дома (проводники и аппараты) – новое и современное, оно было полностью заменено в 2016 году, поэтому на сегодняшний день в модернизации не нуждается;
- определено, что на объекте исследования устарели система учёта и контроля электроэнергии (введена в работу в 2003 году), а также система релейной защиты и автоматики на питающем ТП-10/0,4 кВ (введена в работу в 1996 году). Следовательно, они также нуждаются в модернизации (полной замене на современные марки оборудования);

- установлено, что дополнительным мероприятием по модернизации системы электроснабжения многоквартирного жилого дома, является ввод в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения, учтенных на этапе модернизации и полностью автоматизированных.

Таким образом, в работе для решения поставленных задач необходимо провести:

- модернизацию питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающуюся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) и вводных и секционных автоматов марки АЕ;
- модернизацию системы учёта и контроля электроэнергии, а также системы релейной защиты и автоматики на питающем ТП-10/0,4 кВ;
- модернизацию и обновление схемы распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения.

Также требуется проверка всех технических решений, не требующих модернизации (проверка мощности трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ, проводников и аппаратов в распределительной сети 0,38/0,22 кВ, а также аналогичных прочих решений).

В работе рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в сети 10 кВ и 0,4 кВ многоквартирного жилого дома.

Исходя из результатов расчёта, на питающей ТП-10/0,4 кВ дома, окончательно подтверждена установка двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1000/10. Установлено, что компенсировать реактивную нагрузку потребителей активно-индуктивных потребителей системы электроснабжения дома путём установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, нет необходимости.

В работе для решения поставленных задач проведено:

- модернизация питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающаяся в замене устаревших и износившихся питающей кабельной линии марки АВВГ (3×120) на современные кабели марки АВБШПнг 5×185;
- выбор трёхжильных кабелей марки АВБШПнг распределительной сети 0,38/0,22 кВ, обусловленной вводом в эксплуатацию современных продвинутых инженерных систем жизнеобеспечения;
- проверка остальных технических решений по проводникам, не относящимся к модернизации, в результате чего для питающей КЛ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ подтверждена марка и сечение кабеля АСБл-10 (3×35), а также подтверждены все сечения кабельных линий распределительной сети 0,4 кВ существующих потребителей.

Для решения поставленных задач проведены следующие мероприятия с получением таких результатов:

- модернизация аппаратов питающей сети 0,38/0,22 кВ жилого дома, заключающаяся в замене устаревших и износившихся автоматов марки АЕ, на современные автоматы марки Siemens SENTRON;
- выбор автоматов распределительной сети;
- проверку остальных технических решений.

В результате модернизации системы учёта и контроля электроэнергии многоквартирного жилого дома, выбрана АСКУЭ на базе трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки ЦЭ6823М. Такая система полностью подходит для установки и использования на объекте исследования.

В качестве рациональной системы релейной защиты и автоматики для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения жилого дома, обосновано применение микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП.

Рассчитаны необходимые экономические показатели, необходимые для реализации предложенного проекта модернизации системы электроснабжения многоэтажного жилого здания.

При этом основное внимание уделено расчёту капиталовложений, суммарных эксплуатационных издержек, суммарной стоимости проекта, а также вероятному сроку его окупаемости.

Установлено, что суммарные капиталовложения на реализацию проекта составили 6594,8 тыс. руб., суммарные эксплуатационные издержки составили 5568,6 тыс. руб., а суммарная стоимость проекта – 12163,4 тыс. руб.

Определено, что срок окупаемости проекта составляет 7,38 лет, что соответствует рекомендуемому нормативному сроку окупаемости (не более 8-10 лет), следовательно, предложенный проект модернизации экономически эффективен.

В результате выполнения работы проведён выбор, проверка и обоснование целесообразных технических решений, позволяющих осуществить качественную модернизацию системы электроснабжения многоэтажного жилого здания, с внедрением современных требований нормативных документов и инновационных разработок электротехники на объекте исследования.

Список используемой литературы

1. АСКУЭ со счётчиком ЦЭ6823М [Электронный ресурс]: URL: <http://www.energomera.ru/ru/products/meters/ce6823m> (дата обращения: 25.03.2024).

2. Выключатели автоматические Siemens SENTRON [Электронный ресурс]: URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj5oOyn_I-FAxVWXvEDHdzFAQkQFnoECCEQAQ&url=http%3A%2F%2Fprogressavtomatika.ru%2Fkatalog-tovarov%2Favtomaty-vyklyuchateli-rascepiteli-siemens-sentron-3w11-3w12-3w13.html&usg=AOvVaw2VGFtL3leRGO-arZxzJ_q&opi=89978449 (дата обращения: 24.03.2024).

3. Каталог. Кабели силовые. [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ips.ru/spravochnik/kabeli-silovye/> (дата обращения: 24.03.2024).

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

5. Климат: Екатеринбург - Климатический график [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.climate-data.org/%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D1%8F/%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D1%84%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F/%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C/%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B1%D1%83%D1%80%D0%B3-458/> (дата обращения: 24.03.2024).

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

9. 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.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

12. 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: 24.03.2024).

13. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

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

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

16. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 24.03.2024).

17. Трансформаторы ТМ. [Электронный ресурс]: URL: <https://transform74.ru/tr/transformatory-tm/> (дата обращения: 24.03.2024).

18. Универсальный терминал защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rza.ru/catalog/novinki/sirius-2l-02-novyy-universalnyy-terminal.php> (дата обращения: 25.03.2024).

19. Фризен В.Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных

распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург:
Издательство Уральского университета, 2021. 184 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.