

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения микрорайон Киселевка г. Ишим

Обучающийся

В. Ю. Иуси

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. С. В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Аннотация

В данной работе выполнена реконструкция схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселёвка города Ишима. Такая реконструкция обусловлена планируемым подключением новой нагрузки потребителей, ввод которых в эксплуатацию запланирован в ближайшее время.

Для питания новой нагрузки микрорайона выбраны и введены в эксплуатацию новые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (далее – ТП-10/0,4 кВ), подключённые к одной из питающих магистралей на напряжении 10 кВ. С другой стороны, учитывая параметры надёжности и безопасности, проведена модернизация электрических сетей микрорайона напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 с заменой устаревших и изношенных кабелей марки АСБ-10 и АВВГ-0,4 кВ на современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Кроме того, усовершенствована система определения мест повреждений в кабельных линиях электрической сети микрорайона.

Также проведена замена электрических аппаратов в распределительных устройствах 10 кВ (далее – РУ-10 кВ) ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения микрорайона.

Выбраны и рассчитаны трансформаторы понизительных подстанций микрорайона. Осуществлён расчет нагрузок и токов короткого замыкания.

Проведена реконструкция вторичных цепей микрорайона, для чего выбраны современные решения в данной сфере.

Таким образом, в результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений, а также модернизации электрических сетей и оборудования, улучшены показатели бесперебойности передачи электроэнергии, а также повышена селективность и быстродействие системы защиты, что обеспечивает более эффективное функционирование системы электроснабжения микрорайона.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика микрорайона	7
1.1 Характеристика географического расположения и климатических условий микрорайона	7
1.2 Характеристика системы электроснабжения микрорайона и потребителей электроэнергии.....	10
2 Расчет электрических нагрузок микрорайона.....	20
3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов	33
4 Выбор сечения проводников и усовершенствование методов определения мест повреждения в кабельных линиях	36
4.1 Выбор проводников электрической сети 10 кВ.....	36
4.2 Выбор проводников электрической сети 0,4 кВ	42
4.3 Усовершенствование методов определения мест повреждения в кабельных линиях	47
5 Расчет токов короткого замыкания	51
6 Выбор и проверка электрических аппаратов	59
7 Реконструкция вторичных цепей микрорайона.....	71
Заключение	75
Список используемых источников.....	81

Введение

Реконструкция и модернизация систем электроснабжения жилых микрорайонов городов Российской Федерации являются актуальными и приоритетными задачами в контексте развития энергетической инфраструктуры страны. Важность этих процессов обусловлена несколькими ключевыми факторами, связанными с обеспечением надёжности, эффективности и безопасности электроснабжения населения. Далее, на основе анализа нормативных источников, приводится аргументация, обуславливающая практическую ценность и актуальность настоящей работы.

Во-первых, значительная часть существующих систем электроснабжения была построена несколько десятилетий назад и в настоящее время не соответствует современным техническим требованиям и нагрузкам. Рост населения городов, увеличение потребления электроэнергии вследствие развития бытовой техники и цифровых технологий создают дополнительную нагрузку на сети, что может приводить к перегрузкам, аварийным ситуациям и перебоям в электроснабжении. Модернизация позволяет обновить оборудование, увеличить пропускную способность сетей и обеспечить стабильное энергоснабжение жилых районов.

Во-вторых, использование устаревшего оборудования негативно сказывается на энергоэффективности и экономичности систем электроснабжения. Высокие технические потери, низкая автоматизация и отсутствие современных средств управления приводят к нерациональному использованию ресурсов и увеличению эксплуатационных расходов. Внедрение современных технологий, таких как интеллектуальные сети, а также автоматизированные системы управления и современные материалы, способствует снижению потерь электроэнергии, повышению оперативности управления и оптимизации затрат.

При этом государственная поддержка играет существенную роль в реализации проектов реконструкции и модернизации. 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.

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

Таким образом, реконструкция и модернизация систем электроснабжения жилых микрорайонов городов Российской Федерации являются стратегически важными направлениями, способствующими повышению надёжности и эффективности энергетической системы страны [20].

Их актуальность и важность обусловлены необходимостью адаптации к современным техническим требованиям, повышению энергоэффективности и обеспечению экологической безопасности.

Следовательно, настоящая работа, посвящённая вопросам реконструкции системы электроснабжения и модернизации оборудования микрорайона Киселевка г. Ишим, имеет значимую практическую ценность и актуальность.

Основной целью работы является разработка и обоснование целесообразных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселёвка города Ишима. Такая реконструкция обусловлена планируемым подключением новой нагрузки потребителей, ввод в эксплуатацию которых запланирован в ближайшее

время.

В работе для питания новой нагрузки микрорайона выбираются и обосновываются новые ТП-10/0,4 кВ с последующим подключением к одной из питающих магистралей на напряжении 10 кВ.

С другой стороны, учитывая параметры надёжности и безопасности, проводится модернизация электрических сетей микрорайона напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 с заменой устаревших и изношенных кабелей марки АСБ-10 и АВВГ-0,4 кВ на современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Также необходимо усовершенствовать систему определения мест повреждений в кабельных линиях электрической сети микрорайона.

Также необходимо провести замену электрических аппаратов в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения микрорайона, проверить на соответствие расчётным параметрам нагрузки силовые трансформаторы всех понизительных подстанций микрорайона.

Кроме того, в работе требуется провести реконструкцию вторичных цепей микрорайона, для чего выбрать современные решения в данной сфере.

Таким образом, в результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений, а также модернизации электрических сетей и оборудования, ожидается улучшение показателей бесперебойности передачи электроэнергии, надёжности, экономичности, а также повышение селективности и быстродействия системы защиты и надёжности вторичных цепей коммутации, что обеспечит более эффективное функционирование системы электроснабжения микрорайона.

Все предложенные мероприятия требуется подтвердить в работе на основании проведения соответствующих расчётов и проверок.

1 Исходная характеристика микрорайона

1.1 Характеристика географического расположения и климатических условий микрорайона

Микрорайон Киселёвка в городе Ишим представляет собой современный жилой комплекс, расположенный в одном из перспективных районов города. Его географическое положение обеспечивает удобный доступ к основным транспортным магистралям, что способствует высокой мобильности жителей и связи с другими частями города. Архитектурный облик микрорайона сочетает в себе функциональность и эстетическую привлекательность, отражая современные тенденции градостроительства [5].

С целью выбора рационального климатического исполнения оборудования, а также прокладки электрических сетей, проводится анализ климатических и топографических условий микрорайона по [7].

Микрорайон Киселёвка, расположенный в городе Ишим Тюменской области, характеризуется континентальным климатом, типичным для западносибирского региона.

Географическое положение микрорайона определяет значительные сезонные и суточные колебания температур, а также особенности распределения осадков и ветрового режима.

Температурный режим в Киселёвке отличается выраженной сезонностью. Зимний период продолжительный и суровый, с преобладанием отрицательных температур. Средняя температура января, самого холодного месяца, составляет около минус 18 °С, однако в отдельные дни может опускаться ниже -30 °С из-за вторжений арктических воздушных масс. Летний период короткий, но относительно тёплый. В июле, наиболее тёплом месяце, средняя температура достигает +18 °С, а максимальные значения могут превышать +30 °С, что связано с поступлением тёплых воздушных масс с юга. Температурный график г. Ишима представлен на рисунке 1.

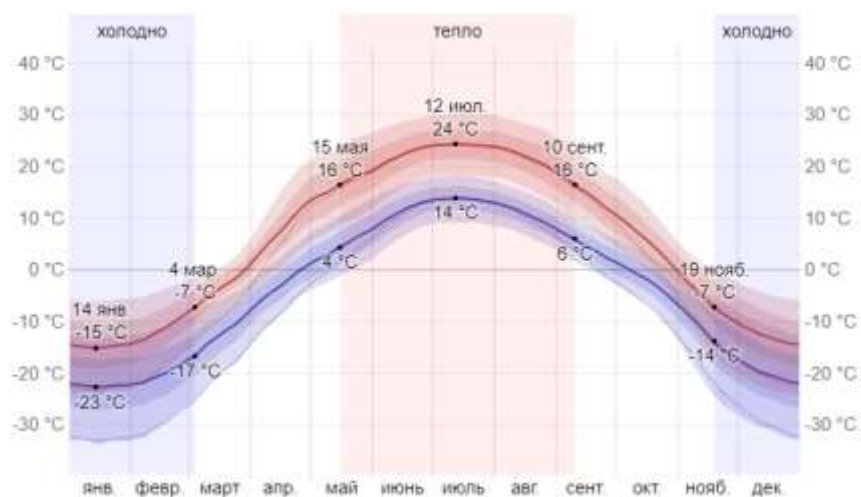


Рисунок 1 – Температурный график г. Ишима

Количество осадков в микрорайоне распределяется неравномерно в течение года. Годовая сумма осадков составляет примерно 400–450 мм. Основная их часть выпадает в летние месяцы, что обусловлено повышенной конвективной деятельностью и развитием циклонов. Максимум осадков наблюдается в июле и августе, когда среднее количество осадков может достигать 70–80 мм. Зимний период характеризуется меньшим количеством осадков, преимущественно в виде снега, что способствует формированию устойчивого снежного покрова. Графики среднемесячного количества осадков для дождя и снеговых осадков в г. Ишим представлены на рисунке 2.

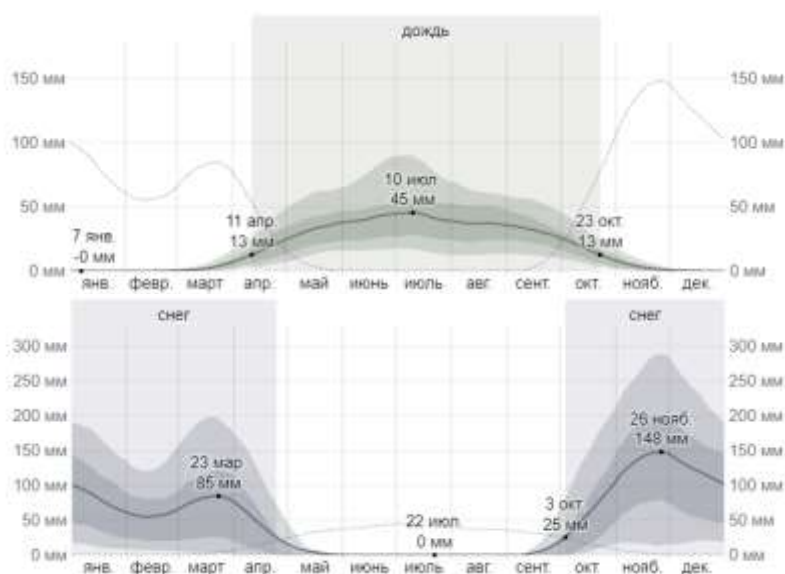


Рисунок 2 – Графики среднемесячного количества осадков для дождя и снеговых осадков в г. Ишим

Ветровой режим в микрорайоне Киселёвка г. Ишим определяется влиянием общих циркуляционных процессов в атмосфере над Сибирью.

Преобладающие ветры имеют юго-западное и западное направление. Средняя скорость ветра колеблется в пределах 3–5 м/с, однако в межсезонье возможны усиления ветра до 10–15 м/с вследствие прохождения фронтальных зон и циклонов. Район относится к категории со средним ветровым влиянием, что учитывается при проектировании строительных конструкций и инженерных сооружений.

График средней скорости ветра в г. Ишим представлен на рисунке 3.

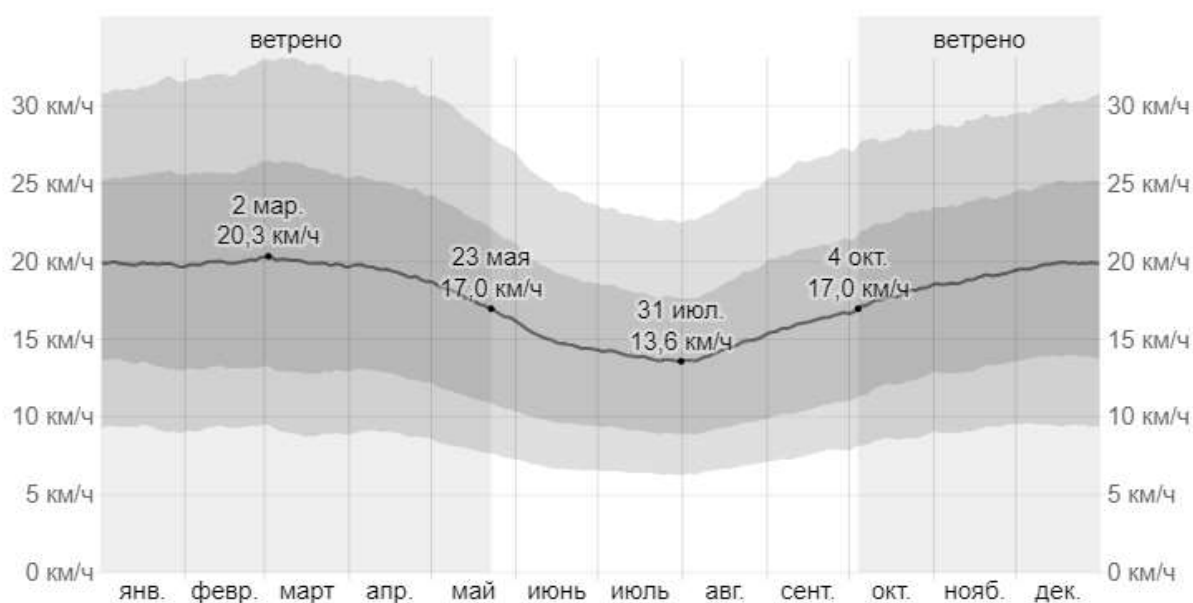


Рисунок 3 – График средней скорости ветра в г. Ишим

Грозовая деятельность в регионе проявляется в основном в тёплый период года, с мая по сентябрь. Пик грозовой активности приходится на июнь и июль. В среднем в течение года наблюдается около 25–30 дней с грозами.

Данный процесс связан с интенсивным прогревом земной поверхности и развитием конвективных процессов, приводящих к образованию кучево-дождевых облаков. Грозы часто сопровождаются кратковременными ливнями и порывистым ветром, что может создавать дополнительные нагрузки на инфраструктуру микрорайона.

Таким образом, установлено, что климатические условия микрорайона Киселёвки г. Ишим оказывают существенное влияние на различные аспекты жизнедеятельности населения и требуют учёта при планировании и эксплуатации жилых и промышленных объектов.

Суровые зимние температуры обуславливают необходимость применения утепления помещений РУ, РП и ТП, а также увеличение глубины прокладки кабельных линий и применение оборудования для холодного климата (ХЛ и УХЛ).

Приведённые сведения используются в работе при выборе проводников и оборудования, а также способов их монтажа.

1.2 Характеристика системы электроснабжения микрорайона и потребителей электроэнергии

Электроснабжение микрорайона Киселёвка г. Ишим осуществляется через десять двухтрансформаторных понизительных подстанций напряжением 10/0,4 кВ.

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

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.

Питающий РП-10 кВ микрорайона получает питание от подстанции 110/10 кВ «Ишимская».

Для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ используются кабели марки АСБ-10, установленные еще в

1970-е годы прошлого столетия. На текущий момент их состояние значительно ухудшилось, что приводит к частым авариям на линиях 10 кВ в микрорайоне, усложняя обеспечение надежного, безопасного и бесперебойного электроснабжения. Кроме того, на протяжении более чем 40 лет многие соединительные муфты на данных линиях пришли в негодность, а другие находятся вне зоны доступа для обслуживания, так как оказались под новыми сооружениями, которые были стихийно построены без согласования с проектной организацией в 90-х годах прошлого века. Таким образом, состояние электрической сети 10 кВ микрорайона является неудовлетворительным.

Установлено, что в питающей и распределительной сетях напряжением 0,38/0,22 кВ микрорайона существует аналогичная проблема. Все данные сети выполнены устаревшими кабелями марки АВВГ-0,4 кВ, которые полностью отработали свой технический ресурс. Данный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей.

Кроме того, на ТП-10/0,4 кВ микрорайона в распределительных устройствах напряжением 10 кВ находится устаревшее и изношенное оборудование, приводящее к значительному снижению надёжности и коммутационно-защитных характеристик системы электроснабжения микрорайона.

Таким образом, в работе требуется устранить обозначенные проблемы.

Далее приводится описание и характеристика потребителей реконструируемого микрорайона Киселёвка г. Ишима.

Жилой фонд микрорайона состоит из многоэтажных домов этажностью в 5, 6 и 9 этажей. Эти здания спроектированы с учётом современных требований к энергоэффективности и комфортному проживанию. Использование качественных строительных материалов и инновационных технологий обеспечивает высокие показатели тепло- и звукоизоляции, что создаёт благоприятные условия для проживания. Разнообразие этажности

жилых домов позволяет удовлетворить различные потребности населения, предлагая варианты квартир различной планировки и площади.

Важным элементом социальной инфраструктуры микрорайона является поликлиника, оснащённая современным медицинским оборудованием и предоставляющая широкий спектр медицинских услуг. Наличие поликлиники в непосредственной близости от жилых домов обеспечивает доступность качественной медицинской помощи для всех категорий населения, способствуя улучшению общего уровня здоровья жителей.

Торговая инфраструктура микрорайона представлена разнообразными магазинами и торговым центром, где жители могут приобрести товары первой необходимости, бытовую технику, одежду и другие потребительские товары. Развитая сеть магазинов удовлетворяет повседневные потребности населения, сокращая необходимость поездок в отдалённые районы города. Торговый центр выступает не только местом для совершения покупок, но и пространством для отдыха и развлечений, предлагая различные сервисы и зоны отдыха.

Кафе и заведения общественного питания, расположенные в микрорайоне, создают благоприятные условия для социального взаимодействия и досуга. Они предоставляют возможность для проведения встреч, семейных мероприятий и просто приятного времяпрепровождения. Разнообразие гастрономических предложений удовлетворяет вкусы самых взыскательных посетителей, способствуя развитию культурной жизни района.

Предприятия сферы услуг, такие как парикмахерские и салоны красоты, обеспечивают жителей необходимыми бытовыми услугами в шаговой доступности.

Наличие данного фактора значительно повышает уровень комфорта проживания, позволяя экономить время и усилия на удовлетворение повседневных потребностей.

Образовательная инфраструктура микрорайона включает в себя школы и детские сады, что является ключевым фактором для семей с детьми.

Наличие образовательных учреждений в непосредственной близости от места проживания обеспечивает удобство и безопасность, создавая оптимальные условия для обучения и развития подрастающего поколения.

Школы оснащены современными учебными материалами и оборудованием, что способствует высокому уровню образования и подготовки учащихся.

Библиотека, расположенная в микрорайоне, выполняет важную культурно-просветительскую функцию. Она предоставляет доступ к богатому книжному фонду и электронным ресурсам, способствуя интеллектуальному развитию и самообразованию жителей. Библиотека также выступает центром общественной жизни, организуя различные культурные мероприятия, лекции и встречи с интересными людьми.

Микрорайон Киселёвка характеризуется гармоничным сочетанием жилой, социальной и коммерческой инфраструктуры, что создаёт комфортную и благоприятную среду для проживания. Развитая инфраструктура, современная архитектура и удобное расположение делают его привлекательным для различных социальных групп. Комплексный подход к планированию пространства способствует устойчивому развитию района, повышению качества жизни населения и укреплению социальной сплочённости.

Определено, что в 2025 году запланировано строительство и ввод в эксплуатацию новых объектов в микрорайоне: пяти-, шести- и девятиэтажных жилых домов (16 единиц), кафе, двух детских садов, магазинов (2 единицы), аптеки, библиотеки и парикмахерской. Установлено, что все новые объекты отнесены ко второй и третьей категории надёжности электроснабжения. Для подключения этих новых потребителей потребуются проектирование и строительство двух новых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, что учтено в планах на будущее развитие микрорайона.

Исходные технические данные существующих и перспективных потребителей микрорайона Киселевка г. Ишим Тюменской области приведены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные существующих и перспективных потребителей микрорайона Киселевка г. Ишим Тюменской области

Наименование потребителя	Число квартир, шт.,	Единица измерения	$P_{уд}$	M	Номер по плану	Категория надёжности
Существующая нагрузка микрорайона						
ТП1						
Жилой дом (9 этажей)	160	кВт/кв	0,79	-	1	2
Магазин	-	м ²	0,25	100		
Кафе	-	мест	1,4	50		
Парикмахерская	-	мест	1,05	10		
Жилой дом (9 этажей)	288	кВт/кВ	0,75	-	2	2
Магазин	-	м ²	0,25	300		
Поликлиника	-	людей	0,07	500	3	2
Жилой дом (5 этажей)	200	кВт/кв	0,77	-	4	3
Жилой дом (5 этажей)	200	кВт/кв	0,77	-	5	3
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	6	3
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	7	3
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	8	3
ТП2						
Жилой дом (9 этажей)	324	кВт/кв	0,74	-	9	2
Промышленный магазин	-	м ²	0,16	300		
Жилой дом (5 этажей)	120	кВт/кв	0,83	-	10	3
Жилой дом (5 этажей)	140	кВт/кв	0,81	-	11	3
Детский сад	-	людей	0,46	250	12	2
Жилой дом (5 этажей)	140	кВт/кв	0,81	-	13	3
Жилой дом (5 этажей)	140	кВт/кв	0,81	-	14	3
Жилой дом (5 этажей)	140	кВт/кв	0,81	-	15	3
ТП3						
Школа	800	мест	0,25	800	16	2
Жилой дом (5 этажей)	140	кВт/кв	0,81	-	17	3
Жилой дом (9 этажей)	36	кВт/кв	1,28	-	18	2
Жилой дом (9 этажей)	108	кВт/кв	0,86	-	19	2
Жилой дом (9 этажей)	108	кВт/кв	0,86	-	20	2
Жилой дом (9 этажей)	216	кВт/кв	0,77	-	21	2
ТП4						
Жилой дом (5 этажей)	180	кВт/кв	0,78	-	22	3
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	23	3
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	24	3
ТП5						
Жилой дом (5 этажей)	120	кВт/кв	0,83	-	25	3
Жилой дом (5 этажей)	120	кВт/кв	0,83	-	26	3
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	27	3
ТП6						

Продолжение таблицы 1

Наименование потребителя	Число квартир, шт.,	Единица измерения	$P_{уд}$	M	Номер по плану	Категория надёжности
Жилой дом (9 этажей)	360	кВт/кв	0,73	-	28	2
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	29	3
Жилой дом (9 этажей)	36	кВт/кв	1,28	-	30	2
Жилой дом (5 этажей)	20	кВт/кв	1,5	-	31	3
Детский сад	-	мест	0,95	300	32	2
ТП7						
Жилой дом (6 этажей)	96	кВт/кв	0,9	-	33	2
Жилой дом (9 этажей)	36	кВт/кв	1,28	-	34	2
Жилой дом (5 этажей)	20	кВт/кв	1,5	-	35	3
Жилой дом (5 этажей)	160	кВт/кв	0,79	-	36	3
Жилой дом (6 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	37	2
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	38	3
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	39	3
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	40	3
Жилой дом (5 этажей)	200	кВт/кв	0,77	-	41	3
Продовольственный магазин	-	м ²	0,25	100		
Продовольственный магазин	-	м ²	0,16	200		
ТП8						
Торговый центр	-	м ²	0,9	110	42	2
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	43	3
Жилой дом (5 этажей)	80	кВт/кв	0,95	-	44	3
Школа	-	мест	0,3	900	45	2
ТП9						
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	46	2
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	47	2
Жилой дом (9 этажей)	180	кВт/кв	0,78	-	48	2
Детский сад	-	людей	0,46	500	49	2
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	50	2
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	51	2
Жилой дом (9 этажей)	180	кВт/кв	0,78	-	52	2
ТП10						
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	53	2
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	54	2
Жилой дом (9 этажей)	180	кВт/кв	0,78	-	55	2
Продовольственный магазин	-	м ²	0,25	100		
Продовольственный магазин	-	м ²	0,16	100		
Парикмахерская	-	мест	1,5	10		
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	56	2
Жилой дом (9 этажей)	144	кВт/кв	0,8	-	57	2
Перспективная нагрузка						
ТП11						
Жилой дом (5 этажей)	85	кВт/кв	0,89	-	58	3
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	59	3
Жилой дом (9 этажей)	32	кВт/кв	1,3	-	60	2
Кафе	-	мест	1,04	100	61	3
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-		
Жилой дом (5 этажей)	70	кВт/кв	0,98	-		

Продолжение таблицы 1

Наименование потребителя	Число квартир, шт.,	Единица измерения	$P_{уд}$	M	Номер по плану	Категория надёжности
Жилой дом (5 этажей)	70	кВт/кв	0,98	-	63	3
Детский сад	-	людей	0,46	200	64	2
Жилой дом (6 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	65	2
Магазин	-	м ²	0,25	200		
Библиотека	-	м ²	0,054	100		
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	66	3
ТП12						
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	67	3
Магазин	-	м ²	0,25	100		
Парикмахерская	-	мест	1,5	10		
Жилой дом (9 этажей)	32	кВт/кв	1,3	-	68	2
Аптека	-	мест	0,16	100		
Жилой дом (5 этажей)	130	кВт/кв	0,82	-	69	3
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	70	3
Детский сад	-	мест	0,46	200	71	2
Жилой дом (5 этажей)	100	кВт/кв	0,85	-	72	3
Жилой дом (5 этажей)	70	кВт/кв	0,98	-	73	3
Жилой дом (5 этажей)	70	кВт/кв	0,98	-	74	3
Жилой дом (5 этажей)	70	кВт/кв	0,98	-	75	3

План расположения потребителей и подстанций микрорайона Киселевка на карте г. Ишима Тюменской области приведён на рисунке 4.

Новые потребители микрорайона выделены красным цветом. Номера потребителей соответствуют номерам объектов в таблице 1.

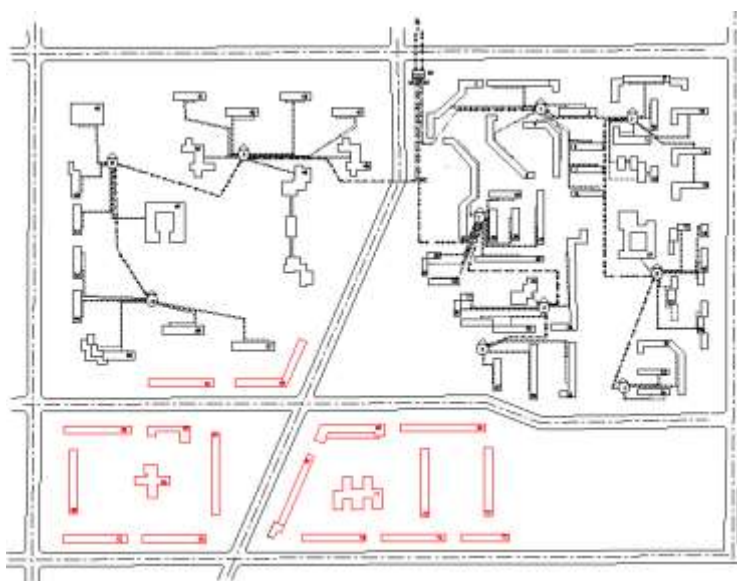


Рисунок 4 – План расположения потребителей и подстанций микрорайона Киселевка на карте г. Ишима Тюменской области

Таким образом установлено, что к существующей нагрузке микрорайона Киселевка г. Ишим относится 57 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности.

Определено, что к перспективной нагрузке микрорайона относятся 18 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности.

Предлагается данную новую нагрузку потребителей микрорайона запитать от двух новых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, обеспечив в схеме на стороне 10 кВ необходимые и достаточные условия резервирования.

Поставленная задача решается в работе далее.

Выводы по разделу.

В результате проведения анализа исходных данных по микрорайону было установлено следующее:

- установлено, что к существующей нагрузке микрорайона Киселевка г. Ишим относится 57 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности (жилые многоэтажные дома этажностью 5,6 и 9 этажей, поликлиника, магазины, кафе, парикмахерская, школы, детские сады, торговый центр, библиотека). Показано, что вся существующая нагрузка микрорайона получает питание от десяти двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ;
- обосновано, что необходимо подключить к существующей системе электроснабжения микрорайона дополнительную (перспективную) нагрузку, состоящую из 18 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности (жилые многоэтажные дома этажностью 5,6 и 9 этажей, магазины, кафе, парикмахерская, детские сады, аптека, библиотека). Установлено, что в составе перспективной нагрузки присутствуют потребители 2 и 3 категорий надёжности;
- установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ и к потребителям на напряжении 0,38/0,22 кВ, используются устаревшие и изношенные кабельные

линии марки АСБ-10 и АВВГ-0,4 кВ, которые полностью выработали свой технический ресурс. Указанный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей;

- показано, что на всех ТП-10/0,4 кВ в РУ-10 кВ установлено устаревшее и ненадёжное оборудование, благодаря чему значительно уменьшилась коммутационно-защитная характеристика системы электроснабжения микрорайона.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к системам электроснабжения жилых объектов, предложен комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим:

- так как новая (перспективная нагрузка) состоит из потребителей преимущественно 2 категории надёжности и требует резервирования, её предложено запитать от двух новых двухтрансформаторных подстанций ТП11 и ТП12, обеспечив в схеме на сторонах 10 кВ и 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования. Учитывая схему электроснабжения микрорайона, предложено запитать указанные ТП-10/0,4 кВ от магистрали МЗ на напряжении 10 кВ;
- с учётом того, что проводники электрических сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ микрорайона выполнены кабельными линиями, находящимися в неудовлетворительном состоянии, а также не обеспечивающих необходимые условия электробезопасности и надёжности, предлагается заменить на современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Также в работе, с учётом недостаточно быстрого и качественного выявления неисправностей и нахождения повреждения силовых кабелей, предлагается разработать

- улучшенную методику определения мест повреждения в кабельных линиях электропередачи системы электроснабжения микрорайона;
- предлагается провести проверку и последующую модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ микрорайона. При этом планируется выбрать новое современное оборудование, применение которого обеспечит повышение показателей надёжности и безопасности в системе электроснабжения микрорайона;
 - предлагается выбрать новые силовые трансформаторы для установки на ТП10 и ТП11, предназначенные для питания перспективной нагрузки, а также проверить на соответствие расчётным параметрам нагрузки силовые трансформаторы всех понизительных подстанций микрорайона;
 - требуется провести реконструкцию вторичных цепей микрорайона, для чего выбрать современные решения в данной сфере. В частности, данный вопрос касается модернизации устройств релейной защиты и автоматики системы электроснабжения микрорайона.

Разработанный комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим предлагается принять за основу и проверить расчётным путём в работе далее.

2 Расчет электрических нагрузок микрорайона

Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения микрорайона Киселёвка города Ишима представляет собой важнейший этап в обеспечении надёжного и эффективного электроснабжения данного района.

Актуальность этой задачи обусловлена динамичным развитием микрорайона, увеличением численности населения и расширением инфраструктуры, что приводит к возрастанию потребления электроэнергии. Точный расчёт нагрузок необходим для предотвращения перегрузок сети, повышения энергоэффективности и обеспечения стабильной работы энергетической системы.

Важность проведения такого расчёта обусловлена несколькими ключевыми факторами.

Прежде всего, это безопасность и комфорт жителей микрорайона. Избежание режима перегрузок и аварийных ситуаций в электросети напрямую влияет на качество жизни населения, функционирование жилых домов, учреждений образования, здравоохранения и коммерческих объектов. Кроме того, корректный расчёт нагрузок позволяет оптимизировать затраты на строительство и модернизацию энергетической инфраструктуры, избежав ненужных расходов на избыточное или недостаточное оборудование.

Последовательность проведения расчёта электрических нагрузок включает в себя несколько этапов.

Первоначально необходимо собрать подробные данные о существующих и планируемых потребителях электроэнергии в микрорайоне.

Такие сведения включает в себя анализ жилых многоэтажных домов различной этажности, поликлиники, магазинов, кафе, парикмахерских, школ, детских садов, торговых центров и библиотеки. Для каждого объекта определяется установленная мощность оборудования, режимы работы и графики потребления электроэнергии. Данный этап был выполнен в первом разделе настоящей работы.

Далее проводится непосредственный расчёт электрических нагрузок отдельных потребителей. Установлено, что в системе электроснабжения микрорайона их 75 единиц.

На основании полученных результатов расчёта нагрузок индивидуальных потребителей, выполняется расчёт суммарных нагрузок по каждой категории потребителей и по всему микрорайону в целом. При этом учитываются максимальные значения нагрузок, а также сезонные колебания потребления электроэнергии. Особое внимание уделяется анализу пиковых нагрузок, которые могут приводить к перегрузкам оборудования и сетей.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения микрорайона Киселёвка города Ишима является комплексной и критически важной задачей, от которой зависит качество и надёжность электроснабжения жителей и функционирование ключевых объектов инфраструктуры. Выполнение данного расчёта обеспечивает основу для принятия обоснованных решений в области развития энергетической системы микрорайона, способствует повышению энергоэффективности и устойчивости энергоснабжения, а также отвечает требованиям современного урбанистического развития.

Методика расчёта нагрузок объектов зависит от их типов.

«Расчетная активная электрическая нагрузка квартир $P_{кв}$, приведенная к вводу жилого здания микрорайона» [9]:

$$P_{кв} = P_{кв. уд.} \cdot n, кВт, \quad (1)$$

где $P_{кв. уд.}$ – «удельная расчетная электрическая нагрузка квартир, кВт/кв;

n – количество квартир, шт.» [9].

«Расчетная реактивная электрическая нагрузка квартир $P_{кв}$, приведенная к вводу жилого здания» [9]:

$$Q_{\text{кв.}} = P_{\text{кв.}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар}, \quad (2)$$

где « $\text{tg}\varphi$ – расчетный коэффициент реактивной мощности» [9].

«Электрическая нагрузка общественных потребителей» [9]:

$$P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{общ.}}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где « $P_{\text{зар.}}$ – электрическая нагрузка одного потребителя, кВт/ед.» [9].

«Электрическая активная нагрузка магазинов и торговых центров» [9]:

$$P_{\text{маг}} = P_{\text{уд.}} \cdot S, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где « $P_{\text{уд}}$ – удельная электрическая нагрузка предприятия торговли, кВт/м²;

S – площадь торгового помещения, м²» [9].

Расчёт полной нагрузки отдельных потребителей микрорайона зависит от принадлежности к категории и типу потребителей, поэтому выполняется для каждого потребителя индивидуально. При этом, если в состав объекта входят несколько потребителей, суммарная нагрузка на объект определяется суммой их индивидуальных нагрузок.

Проводится определение нагрузок линий индивидуальных потребителей микрорайона с учётом подключения перспективной нагрузки, которая питается от новых ТП11 и ТП12. От ТП1 получают питание 8 потребителей, определяется полная нагрузка их линий.

В состав первого здания входит многоквартирный дом с лифтами, а также магазин, кафе и парикмахерская. С учётом этого, нагрузка здания [17]:

$$S_{\text{л.1}} = \frac{P_{\text{кв}}}{\cos\varphi} + 0,9 \cdot \frac{P_{\text{ном.д.Ксл}}}{\cos\varphi} + \frac{P_{\text{маг.}}}{\cos\varphi} + \frac{P_{\text{кафе.}}}{\cos\varphi} + \frac{P_{\text{парик.}}}{\cos\varphi}, \quad (5)$$

$$S_{л.1} = \frac{160 \cdot 0,79}{0,92} + 0,9 \cdot \frac{5 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} + 0,25 \frac{100}{0,8} + \frac{50}{0,98} + 1,5 \frac{10}{0,97} = 251,48 \text{ кВА.}$$

Аналогично проводится расчёт для остальных линий к потребителям микрорайона.

Для линии к потребителю №2 [17]:

$$S_{л.2} = \frac{P_{кв}}{\cos \varphi} + 0,9 \cdot \frac{P_{ном.д.К_{сл}}}{\cos \varphi} + \frac{P_{маг.}}{\cos \varphi}, \quad (6)$$

$$S_{л.2} = 288 \cdot \frac{0,75}{0,92} + 0,25 \cdot \frac{300}{0,8} + 0,9 \frac{8 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,45}{0,6} = 345,71 \text{ кВА.}$$

$$S_{л.3} = \frac{P_{общ} \cdot M}{\cos \varphi}, \text{ кВА}, \quad (7)$$

$$S_{л.3} = \frac{0,07 \cdot 500}{0,9} = 38,89 \text{ кВА},$$

$$S_{л.4-л.8} = \frac{P_{кв.уд} \cdot n}{\cos \varphi}, \text{ кВА}, \quad (8)$$

$$S_{л.4} = \frac{200 \cdot 0,77}{0,92} = 167,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л.5} = \frac{200 \cdot 0,77}{0,92} = 167,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л.6} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л.7} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л.8} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

От ТП2 получают питание 7 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л.9} = \frac{P_{кв.уд} \cdot n}{\cos \varphi} + 0,9 \frac{P_H \cdot K_{сл}}{\cos \varphi} + \frac{P_{маг.2}}{\cos \varphi}, \text{ кВА}, \quad (9)$$

$$S_{л9} = \frac{P_{кв.уд} \cdot n}{\cos \phi} + 0,9 \frac{P_H \cdot \kappa_{сл}}{\cos \phi} + \frac{P_{ма2}}{\cos \phi} = \frac{324 \cdot 0,74}{0,92} + 0,9 \frac{9 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,42}{0,6} + \frac{300 \cdot 0,16}{0,9} =$$

$$= 331,98 \text{ кВА},$$

$$S_{л10} = \frac{120 \cdot 0,83}{0,92} = 108,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л11} = \frac{140 \cdot 0,81}{0,92} = 123,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л12} = \frac{250 \cdot 0,46}{0,97} = 118,56 \text{ кВА},$$

$$S_{л13} = \frac{140 \cdot 0,81}{0,92} = 123,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л14} = \frac{140 \cdot 0,81}{0,92} = 123,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л15} = \frac{140 \cdot 0,81}{0,92} = 123,26 \text{ кВА}.$$

От ТПЗ получают питание 6 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л16} = \frac{800 \cdot 0,25}{0,95} = 210,53 \text{ кВА},$$

$$S_{л17} = \frac{140 \cdot 0,81}{0,92} = 123,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л18-21} = \frac{P_{кв.уд} \cdot n}{\cos \phi} + 0,9 \frac{P_H \cdot \kappa_{сл}}{\cos \phi}, \text{ кВА}, \quad (10)$$

$$S_{л18} = \frac{36 \cdot 1,28}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \sqrt{0,5}}{0,6} = 54,86 \text{ кВА},$$

$$S_{л19} = \frac{108 \cdot 0,86}{0,92} + 0,9 \frac{3 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,75}{0,6} = 112,89 \text{ кВА},$$

$$S_{л20} = \frac{108 \cdot 0,86}{0,92} + 0,9 \frac{3 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,75}{0,6} = 112,89 \text{ кВА},$$

$$S_{л21} = \frac{216 \cdot 0,77}{0,92} + 0,9 \frac{6 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,55}{0,6} = 196,53 \text{ кВА},$$

От ТП4 получают питание 3 потребителя, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л22} = \frac{180 \cdot 0,78}{0,92} = 152,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л23} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л24} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА}.$$

От ТП5 получают питание 3 потребителя, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л25} = \frac{120 \cdot 0,83}{0,92} = 108,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л26} = \frac{120 \cdot 0,83}{0,92} = 108,26 \text{ кВА},$$

$$S_{л27} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА}.$$

От ТП6 получают питание 5 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л28} = \frac{360 \cdot 0,73}{0,92} + 0,9 \frac{10 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,4}{0,6} = 304,74 \text{ кВА},$$

$$S_{л29} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л30} = \frac{36 \cdot 1,28}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} = 54,86 \text{ кВА},$$

$$S_{л31} = \frac{20 \cdot 1,5}{0,92} = 32,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л32} = \frac{300 \cdot 0,46}{0,97} = 142,27 \text{ кВА}.$$

От ТП7 получают питание 8 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л33} = \frac{96 \cdot 0,9}{0,92} = 93,91 \text{ кВА},$$

$$S_{л34} = \frac{36 \cdot 1,28}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} = 54,86 \text{ кВА},$$

$$S_{л35} = \frac{20 \cdot 1,5}{0,92} = 32,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л36} = \frac{160 \cdot 0,79}{0,92} = 137,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л37} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} = 125,22 \text{ кВА},$$

$$S_{л39} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л40} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л41} = \frac{P_{\text{кв.уд}} \cdot n}{\cos \varphi} + \frac{P_{\text{прод.маг.}}}{\cos \varphi} + \frac{P_{\text{прод.маг.}}}{\cos \varphi}, \text{ кВА}, \quad (11)$$

$$S_{л41} = \frac{200 \cdot 0,77}{0,92} + \frac{100 \cdot 0,25}{0,8} + \frac{200 \cdot 0,16}{0,9} = 234,2 \text{ кВА},$$

От ТП8 получают питание 4 потребителя, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л42} = \frac{100 \cdot 1}{0,9} = 122,22 \text{ кВА},$$

$$S_{л43} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л44} = \frac{80 \cdot 0,95}{0,92} = 82,61 \text{ кВА},$$

$$S_{л45} = \frac{900 \cdot 0,25}{0,95} = 244,56 \text{ кВА}.$$

От ТП9 получают питание 7 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л46} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л47} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л48} = \frac{180 \cdot 0,78}{0,92} + 0,9 \frac{5 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} = 166,93 \text{ кВА},$$

$$S_{л49} = \frac{500 \cdot 0,46}{0,97} = 237,11 \text{ кВА},$$

$$S_{л50} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л51} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л52} = \frac{180 \cdot 0,78}{0,92} + 0,9 \frac{5 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} = 166,93 \text{ кВА}.$$

От ТП10 получают питание 5 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л53} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л54} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л55} = \frac{180 \cdot 0,78}{0,92} + 0,9 \frac{5 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} + \frac{100 \cdot 0,25}{0,8} + \frac{100 \cdot 0,16}{0,9} + \frac{10 \cdot 1,5}{0,97} = 231,42 \text{ кВА},$$

$$S_{л56} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА},$$

$$S_{л57} = \frac{144 \cdot 0,8}{0,92} + 0,9 \frac{4 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} = 137,63 \text{ кВА}.$$

От новой ТП11 получают питание 9 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л58} = \frac{85 \cdot 0,89}{0,92} = 82,23 \text{ кВА},$$

$$S_{л59} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л60} = \frac{32 \cdot 1,3}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} + \frac{100 \cdot 1,04}{0,98} = 156,11 \text{ кВА},$$

$$S_{л61} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л62} = \frac{70 \cdot 0,98}{0,92} = 74,57 \text{ кВА},$$

$$S_{л63} = \frac{70 \cdot 0,98}{0,92} = 74,57 \text{ кВА},$$

$$S_{л64} = \frac{200 \cdot 0,46}{0,97} = 94,85 \text{ кВА},$$

$$S_{л65} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} + \frac{200 \cdot 0,25}{0,8} + \frac{100 \cdot 0,054}{0,87} = 161,1 \text{ кВА},$$

$$S_{л66} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА}.$$

От новой ТП12 получают питание 9 потребителей, определяется полная нагрузка их линий:

$$S_{л67} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} + \frac{100 \cdot 0,25}{0,8} + \frac{10 \cdot 1,5}{0,97} = 139,1 \text{ кВА},$$

$$S_{л68} = \frac{32 \cdot 1,3}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} + \frac{100 \cdot 0,16}{0,92} = 67,38 \text{ кВА},$$

$$S_{л69} = \frac{130 \cdot 0,82}{0,92} = 115,87 \text{ кВА},$$

$$S_{л70} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л71} = \frac{200 \cdot 0,46}{0,97} = 94,85 \text{ кВА},$$

$$S_{л72} = \frac{100 \cdot 0,85}{0,92} = 92,39 \text{ кВА},$$

$$S_{л73} = \frac{70 \cdot 0,98}{0,92} = 74,57 \text{ кВА},$$

$$S_{л74} = \frac{70 \cdot 0,98}{0,92} = 74,57 \text{ кВА},$$

$$S_{л75} = \frac{70 \cdot 0,98}{0,92} = 74,57 \text{ кВА}.$$

Далее проводится расчёт нагрузки на шинах 0,4 кВ питающих ТП1-ТП12 микрорайона по формуле:

$$S_{ТП} = \frac{\Sigma P_{кв.уд} \cdot n}{\cos \varphi} + 0,9 \frac{\Sigma P_{общ i}}{\cos \varphi} \cdot k_m, \quad (12)$$

где k_m – коэффициент участия потребителя в максимуме нагрузки;

$\Sigma P_{общ i}$ – суммарная расчетная активная нагрузка на вводе потребителя нежилого фонда, получающего питание от соответствующей ТП-10/0,4 кВ микрорайона.

Расчётная нагрузка ТП1-ТП12 микрорайона с учётом питающихся от них потребителей, с учётом ввода в эксплуатацию новых ТП11 и ТП12, по выражению (12), будет равна:

$$\begin{aligned} S_{ТП1} &= \frac{(160 + 288 + 200 + 200 + 100 + 100 + 100) \cdot 0,65}{0,92} + \\ &+ 0,9 \left(\frac{5 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} + \frac{8 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,45}{0,6} \right) + \frac{0,25 \cdot 100}{0,8} \cdot 1 + \frac{1,04 \cdot 50}{0,98} \cdot 1 + \\ &+ \frac{1,5 \cdot 10}{0,97} \cdot 1 + \frac{300 \cdot 0,25}{0,8} \cdot 1 + \frac{0,07 \cdot 500}{0,9} \cdot 1 = 1075 \text{ кВА}, \end{aligned}$$

$$S_{III2} = \frac{(324+120+140+140+140+140) \cdot 0,67}{0,92} + 0,9 \frac{9 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,42}{0,6} + \frac{0,16 \cdot 300}{0,9} \cdot 1 + \frac{0,46 \cdot 250}{0,97} \cdot 0,9 = 921,1 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III3} = \frac{(140+36+108+108+216) \cdot 0,69}{0,92} + \frac{0,25 \cdot 800}{0,95} \cdot 0,3 + 0,9 \left(\frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} + 2 \frac{3 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,75}{0,6} + \frac{6 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,55}{0,6} \right) = 563,48 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III4} = \frac{(180+80+80) \cdot 0,734}{0,92} = 271,26 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III5} = \frac{(120+120+80) \cdot 0,74}{0,92} = 257,39 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III6} = \frac{(360+100+36+20) \cdot 0,7}{0,92} + 0,9 \left(\frac{10 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,4}{0,6} + \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} \right) + \frac{0,46 \cdot 300}{0,97} \cdot 0,9 = 544,51 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III7} = \frac{(96+36+20+160+144+80+80+80+200) \cdot 0,675}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} + \frac{100 \cdot 0,25}{0,8} \cdot 1 + \frac{200 \cdot 0,16}{0,9} \cdot 1 = 728,97 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III8} = \frac{(80+80) \cdot 0,79}{0,92} + \frac{110}{0,9} \cdot 1 + \frac{900 \cdot 0,25}{0,95} \cdot 0,3 = 330,66 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III9} = \frac{(144+144+180+144+144+180) \cdot 0,674}{0,92} + 0,9 \times \left(4 \cdot \frac{4 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} + 2 \frac{5 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} \right) + \frac{500 \cdot 0,46}{0,97} \cdot 0,9 = 977,4 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III10} = \frac{(144+144+180+144+144) \cdot 0,683}{0,92} + 0,9 \left(4 \cdot \frac{4,5 \cdot 4 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,65}{0,6} + \frac{5 \cdot 4,5 \sqrt{0,5} \cdot 0,6}{0,6} \right) + \frac{0,25 \cdot 100}{0,8} \cdot 1 + \frac{0,16 \cdot 100}{0,9} \cdot 1 + \frac{1,5 \cdot 10}{0,91} \cdot 1 = 689,7 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{III11} = \frac{(85+100+32+100+70+70+100+100) \cdot 0,687}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \sqrt{0,5}}{0,6} + \frac{1,04 \cdot 100}{0,98} + \frac{0,46 \cdot 200}{0,97} \cdot 0,9 + \frac{0,25 \cdot 200}{0,8} \cdot 1 + \frac{0,054 \cdot 100}{0,87} \cdot 1 = 755,58 \text{ } \kappa BA,$$

$$S_{ТП12} = \frac{(100+32+130+100+100+70+70+70) \cdot 0,686}{0,92} + 0,9 \frac{4,5 \cdot \sqrt{0,5}}{0,6} + \frac{0,25 \cdot 100}{0,8} + \frac{1,5 \cdot 10}{0,97} + \frac{0,16 \cdot 100}{0,92} + \frac{0,46 \cdot 200}{0,97} \cdot 0,9 = 655,32 \text{ кВА}.$$

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:

$$S_{M1} = (S_{ТП1} + S_{ТП2} + S_{ТП3} + S_{ТП4}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (13)$$

$$S_{M1} = (1075 + 921,1 + 563,48 + 271,26) \cdot 0,9 = 2547,76 \text{ кВА}.$$

Аналогично для питающих магистралей М2 и М3 напряжением 10 кВ:

$$S_{M2} = (S_{ТП7} + S_{ТП6} + S_{ТП5}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (14)$$

$$S_{M2} = (728,97 + 544,51 + 257,39) \cdot 0,9 = 1377,78 \text{ кВА},$$

$$S_{M3} = (S_{ТП9} + S_{ТП8} + S_{ТП10} + S_{ТП11} + S_{ТП12}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (15)$$

$$S_{M3} = (977,4 + 330,66 + 689,7 + 755,58 + 655,32) \cdot 0,9 = 3067,79 \text{ кВА}.$$

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

$$S_{РП} = (S_{M1} + S_{M2} + S_{M3}) \cdot 0,9, \text{ кВА}, \quad (16)$$

$$S_{РП} = (2547,76 + 1377,78 + 3067,79) \cdot 0,9 = 6294 \text{ кВА}.$$

Рассчитанные значения электрических нагрузок используются в работе.

Выводы по разделу.

В результате проведения расчёта, на данном этапе получены значения расчётных нагрузок следующих объектов и сетей микрорайона Киселевка г.

Ишим:

- отдельных линий для питания потребителей на напряжении 0,4 кВ;
- линий для питания ТП-10/0,4 кВ микрорайона (ТП1-ТП12);
- 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-ТП12) микрорайона, а также для выбора и проверки электрических аппаратов и проводников на рассматриваемом объекте исследования.

3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов

Далее в работе необходимо провести выбор числа, мощности трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим.

Ранее в работе было определено, что для питания 75 потребителей микрорайона применяется 12 ТП-10/0,4 кВ. Рассчитаны значения нагрузки всех ТП-10/0,4 кВ.

Установлено, что из 12 ТП-10/0,4 кВ, 10 ТП – существующие, а 2 ТП – новые.

Таким образом, в работе необходимо проверить мощности трансформаторов на существующих ТП1-ТП10 и выбрать мощности трансформаторов новых ТП11-ТП12.

С учётом того, что в схеме электроснабжения микрорайона также преобладают потребители 2 категории надёжности, на всех ТП-10/0,4 кВ микрорайона устанавливаются по 2 силовых трансформатора.

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]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{р.ТП}}{K_3 \cdot N}, \text{кВА}, \quad (17)$$

где « K_3 – номинальный коэффициент загрузки трансформатора;

N – количество трансформаторов» [6].

Расчет мощности трансформатора для ТП1 микрорайона:

$$S_{ном.т} \geq \frac{1075}{2 \cdot 0,8} = 671,9 \text{ кВА.}$$

Предварительно принимаются к установке на ТП1 микрорайона два силовых трансформатора марки ТМ-1000/10 [18].

Данный тип трансформатора не совпадает с ранее установленным трансформатором на данной подстанции (ранее на данной подстанции был установлен один трансформатор марки ТМ-630/10).

Проверка загрузки трансформатора в нормальном режиме (в работе – оба трансформатора, $N_n=2$) [10]:

$$K_{з.н} = \frac{S_p}{N_n \cdot S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (18)$$

Условия данной проверки для ТП1 микрорайона выполняются [10]:

$$K_{з.н} = \frac{1075}{2 \cdot 1000} = 0,54 \leq 0,8.$$

Проверка загрузки трансформатора в послеаварийном режиме (в работе – один трансформатор, $N_a=1$) [10]:

$$K_{з.а} = \frac{S_p}{N_n \cdot S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (19)$$

Условия данной проверки для ТП1 микрорайона выполняются [10]:

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

Таким образом, для установки на ТП1 микрорайона окончательно принимаются два силовых трансформатора марки ТМ-1000/10 [18].

Результаты выбора и проверки числа и мощности силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах с целью установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты выбора и проверки числа и мощности силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах с целью установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим

№ ТП	$S_{ном.т.сущ},$ кВА	$N,$ единиц	$S_{р.ТП},$ кВА	$S_{ном.т.},$ кВА	$K_{з.н}$	$K_{з.а}$	Совпадение с ранее установленным трансформатором
ТП 1	630	2	1075,00	1000	0,54	1,08	нет
ТП 2	630	2	921,10	630	0,73	1,46	да
ТП 3	400	2	563,48	400	0,70	1,41	да
ТП 4	400	2	271,26	250	0,54	1,28	нет
ТП 5	400	2	257,39	250	0,51	1,02	нет
ТП 6	400	2	544,51	400	0,68	1,36	да
ТП 7	630	2	728,97	630	0,58	1,16	да
ТП 8	250	2	330,66	250	0,66	1,32	да
ТП 9	630	2	977,40	630	0,78	1,56	да
ТП 10	400	2	689,70	630	0,55	1,10	нет
ТП 11	-	2	755,58	630	0,60	1,20	новая ТП
ТП 12	-	2	655,32	630	0,52	1,04	новая ТП

Таким образом, установлено, что на ТП1, ТП4, ТП5 и ТП10 мощности трансформаторов рекомендуется изменить. На остальных ТП мощности ранее установленных трансформаторов остались без изменения.

Выводы по разделу.

Выбраны силовые трансформаторы марки ТМ-630/10 для установки на новых ТП11 и ТП12 системы электроснабжения микрорайона.

По результатам проверки трансформаторов подстанций микрорайона установлено, что на ТП1, ТП4, ТП5 и ТП10 рекомендуется изменить мощности трансформаторов. На остальных трансформаторных подстанциях мощности ранее установленных трансформаторов рекомендуется оставить без изменений.

4 Выбор сечения проводников и усовершенствование методов определения мест повреждения в кабельных линиях

4.1 Выбор проводников электрической сети 10 кВ

Ранее в работе было установлено, что электрическая сеть из двенадцати ТП-10/0,4 кВ получают питание от РП-10 кВ тремя магистральными кабельными линиями.

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 микрорайона получает питание от подстанции 110/10 кВ «Ишимская». Все перечисленные кабели составляют питающую и распределительную сеть 10 кВ микрорайона.

Для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ используются кабели марки АСБ-10, установленные еще в 1970-е годы прошлого столетия. На текущий момент их состояние значительно ухудшилось, что приводит к частым авариям на линиях 10 кВ в микрорайоне, усложняя обеспечение надежного, безопасного и бесперебойного электроснабжения.

Кроме того, на протяжении более чем 40 лет многие соединительные муфты на данных линиях пришли в негодность, а другие находятся вне зоны доступа для обслуживания, так как оказались под новыми сооружениями, которые были стихийно построены без согласования с проектной организацией в 90-х годах прошлого века. Таким образом, состояние электрической сети 10 кВ микрорайона является неудовлетворительным.

В работе необходимо решить данную проблему путём выбора новых кабельных линий к ТП11 и ТП12, а также замене существующих кабельных линий трёх магистралей М1-М3, питающих десять ТП-10/0,4 кВ, которые были в схеме микрорайона до проведения её реконструкции.

С учётом данного факта, предлагается заменить перечисленные кабели марки АСБ-10 на современные кабельные линии с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвКВнг(А)-LS (изготовитель – ООО «Камский Кабель») [3].

При этом, необходимо выбрать рациональную схему электроснабжения микрорайона на напряжении 10 кВ, которая будет влиять на результаты расчёта. Принимается петлевая схема электроснабжения микрорайона. Петлевая схема электроснабжения микрорайона Киселёвка 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 подачи электроэнергии с двух сторон кольца, при возникновении аварийной ситуации на одном из участков сети потребители продолжают получать электроэнергию по альтернативному пути. Наличие данного фактора минимизирует время простоя и снижает риск полного обесточивания потребителей, что особенно важно для критически важных объектов инфраструктуры, таких как поликлиники, школы и детские сады, расположенные в микрорайоне Киселёвка.

Кроме того, петлевая схема позволяет эффективно секционировать сеть при проведении ремонтных работ или устранении неисправностей. Наличие секционных выключателей и коммутационных аппаратов в узловых точках сети даёт возможность отключать лишь небольшие участки линии, не затрагивая электроснабжение большинства потребителей. Данный аспект

существенно повышает оперативность обслуживания сети и сокращает затраты времени и ресурсов на восстановление нормального режима работы.

Важным преимуществом является улучшение качества электроэнергии и стабильности напряжения в сети. Петлевая схема обеспечивает более равномерное распределение нагрузок между участками сети и снижает падение напряжения на линиях.

Наличие данного фактора особенно актуально в условиях растущей нагрузки микрорайона Киселёвка, где увеличение числа потребителей и подключение новых объектов требуют поддержания стабильных параметров электроснабжения для корректной работы бытовых и промышленных приборов.

Гибкость управления сетью в петлевой схеме также является значимым фактором. Диспетчерские службы получают возможность перераспределять нагрузки и изменять конфигурацию сети в реальном времени, что позволяет оптимизировать режимы работы и повышать энергоэффективность системы.

Интеграция современных средств автоматизации и систем мониторинга облегчает контроль состояния сети и своевременное выявление потенциальных проблемных участков.

С точки зрения экономической эффективности, петлевая схема может снизить эксплуатационные расходы за счёт уменьшения технических потерь электроэнергии и оптимизации использования оборудования.

Хотя первоначальные затраты на строительство петлевой сети могут быть выше из-за большего объёма кабельных линий и оборудования, в долгосрочной перспективе эти инвестиции окупаются благодаря повышенной надёжности и снижению затрат на обслуживание и ремонты.

Таким образом, в условиях микрорайона Киселёвка г. Ишима, характеризующегося сочетанием жилых многоэтажных домов, социальных учреждений и коммерческих объектов, петлевая схема электроснабжения обеспечивает комплексное решение для удовлетворения энергетических потребностей населения.

Следовательно, данная схема рекомендована для применения в сети 10 кВ микрорайона.

Проводится выбор питающей кабельной линии 10 кВ, обеспечивающей питание РП-10 кВ микрорайона от подстанции 110/10 кВ «Ишимская» после увеличения нагрузки «по экономической плотности тока» [16]:

$$F_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (20)$$

где $I_{p.}$ - значение расчётного тока кабельной линии в нормальном

режиме на стороне 10 кВ;

« j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [14].

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

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (21)$$

где S_p - расчётная нагрузка линии, кВА.

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

$$I_{p.} = \frac{6294 / 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 181,9 \text{ А.}$$

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

$$F_3 = \frac{181,9}{1,4} = 129,9 \text{ мм}^2.$$

Для питания РП-10 кВ от шин энергосистемы на напряжении 10 кВ предварительно принимается два силовых кабеля марки АПвКВнг(А)-LS 3×120/16 [3].

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (22)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток кабельной линии (справочные данные, зависящие от марки кабеля и сечения его жил, а также от типа изоляции, А [10].

Для питающего кабеля РП-10 кВ проверка выполнена:

$$295 \text{ А} \geq 181,9 \text{ А}.$$

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.m}, \quad (23)$$

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

Ток КЛ-10 кВ в послеаварийном режиме:

$$I_{p.\text{max}} = K_p \cdot I_p, \quad (24)$$

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:

$$295 \text{ А} \geq 181,9 \cdot 1,4 = 254,66 \text{ А}.$$

«Проверка кабеля по механическим условиям» [10]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (25)$$

Для питающего кабеля РП-10 кВ проверка выполнена:

$$120 мм^2 \geq 25 мм^2.$$

Следовательно, применение силовых кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×120/16 для питания РП-10 кВ системы электроснабжения микрорайона на напряжении 10 кВ, обосновано. Выбор остальных кабельных линий напряжением 10 кВ системы электроснабжения микрорайона проведён аналогично с приведением полученных результатов в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора кабельных линий сети 10 кВ микрорайона

Наименование линии 10 кВ	S_p , кВА	Число кабелей, шт.	I_p , А	$I_{р.м}$, А	Марка и сечение кабеля	$I_{дон}$, А
Энергосистема – РП-10 кВ	6294,2	2	181,90	254,66	АПвКВнг(А)-LS 3×120/16	295
М1, 10 кВ	2547,76	2	73,63	103,09	АПвКВнг(А)-LS 3×50/16	175
М2, 10 кВ	1377,78	2	39,82	55,75	АПвКВнг(А)-LS 3×50/16	175
М3, 10 кВ	3067,79	2	88,66	121,13	АПвКВнг(А)-LS 3×50/16	175

Таким образом, в результате проведения модернизации питающей и распределительной сети 10 кВ, для питания РП-10 кВ от энергосистемы выбраны и подтверждены два силовых кабеля марки АПвКВнг(А)-LS 3×120/16, а для питания трёх магистралей 10 кВ М1-М3 от шин РП-10 кВ обосновано применение кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×50/16 (с использованием петлевой схемы, выбор которой детально обоснован в работе). Все выбранные кабели электрической сети 10 кВ показаны в графической части работы.

4.2 Выбор проводников электрической сети 0,4 кВ

Установлено, что в питающей и распределительной сетях напряжением 0,38/0,22 кВ микрорайона существует аналогичная проблема, связанная с питающей и распределительной сетью 0,38/0,22 кВ. Все данные сети выполнены устаревшими кабелями марки АВВГ-0,4 кВ, которые полностью отработали свой технический ресурс. Данный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей.

С учётом данного факта, предлагается заменить перечисленные кабели на современные кабельные линии с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвПбШв (изготовитель – ООО «Камский Кабель») [4].

При этом выбирается радиальная схема для питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона, которая является оптимальным решением для организации электроснабжения низковольтных потребителей. Применение данной схемы обусловлено рядом технических, экономических и эксплуатационных факторов, которые делают её предпочтительной в условиях конкретного микрорайона.

Одним из ключевых преимуществ радиальной схемы является её простота и экономическая эффективность. Конструкция такой сети предусматривает прямое подключение потребителей к источнику питания по индивидуальным линиям, что снижает затраты на строительство и материалы. Отсутствие сложных коммутационных устройств и минимальное количество кабельных линий позволяют сократить капитальные вложения и упростить монтажные работы. Указанные аспекты особенно актуальны при электрификации районов с плотной застройкой и ограниченным пространством для размещения оборудования.

Радиальная схема обеспечивает высокую надёжность электроснабжения для отдельных групп потребителей. В случае возникновения аварийной ситуации или повреждения на одной линии, это не

влияет на работу других линий и потребителей, подключённых к ним. Такая локализация неисправностей способствует быстрому обнаружению и устранению проблем, минимизируя время простоя и повышая общую устойчивость системы электроснабжения. Наличие указанных факторов важно для обеспечения непрерывной работы критически важных объектов инфраструктуры, таких как медицинские учреждения, школы и другие социально значимые объекты, расположенные в микрорайоне.

Техническая простота радиальной схемы облегчает её эксплуатацию и обслуживание.

Отсутствие сложных переключений и взаимосвязей между линиями упрощает процедуры диагностики и технического обслуживания.

Персонал, обслуживающий сеть, может быстрее реагировать на возникшие неисправности, что сокращает эксплуатационные расходы и повышает эффективность работы энергосистемы.

Кроме того, простота схемы снижает вероятность ошибок при эксплуатации, связанных с человеческим фактором.

С точки зрения качества электроэнергии, радиальная схема позволяет поддерживать стабильные параметры напряжения и частоты.

Индивидуальные линии к потребителям снижают влияние колебаний нагрузки на общую сеть, что положительно сказывается на работе электрических приборов и оборудования.

Экономическая целесообразность применения радиальной схемы также проявляется в снижении эксплуатационных затрат. Меньшее количество оборудования и простота конструкции ведут к сокращению расходов на обслуживание и ремонт.

Кроме того, такая схема обеспечивает гибкость при расширении сети или подключении новых потребителей, что позволяет эффективно планировать развитие энергосистемы в соответствии с ростом микрорайона.

Безопасность эксплуатации является ещё одним существенным преимуществом радиальной схемы.

Отсутствие сложных взаимосвязей между линиями и возможность быстрого отключения повреждённого участка снижают риски возникновения аварийных ситуаций и повышают уровень электробезопасности для потребителей и обслуживающего персонала. Данные условия схемы напрямую соответствуют современным требованиям к надёжности и безопасности энергоснабжения.

Применение радиальной схемы в микрорайоне также учитывает особенности городской инфраструктуры и распределения нагрузок.

Такая схема позволяет более точно рассчитывать и регулировать нагрузки на отдельных участках сети, что способствует оптимальному использованию энергетических ресурсов и повышению общей энергоэффективности.

Возможность индивидуального учёта потребления электроэнергии упрощает взаимодействие с потребителями и способствует внедрению современных систем управления энергопотреблением.

Таким образом, применение радиальной схемы питающей сети 0,38/0,22 кВ в микрорайоне обосновано её экономической эффективностью, надёжностью, простотой эксплуатации и соответствием требованиям безопасности. Следовательно, выбор радиальной схемы для питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона, полностью обоснован.

Проводится расчёт электрической сети 0,4 кВ микрорайона с выбором сечения рациональных проводников.

Известно, что выбор сечения проводников до 1 кВ проводится по условиям допустимого нагрева током нормального режима и проверяется по условиям перегрева током послеаварийного режима. Данные условия были приведены при выборе и проверке КЛ-10 кВ в работе ранее.

При определении допустимого тока кабелей использован источник [2].

Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим Тюменской области представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим Тюменской области

Наименование потребителя	S_p , кВА	I_p , А	$I_{p.m.}$, А	Сечение кабеля	$I_{доп}$, А	Номер по плану
Существующая нагрузка микрорайона						
ТП1						
Жилой дом (9 этажей)	251,48	381,03	533,44	2 шт.	2×274	1
Магазин				4×120		
Кафе						
Парикмахерская						
Жилой дом (9 этажей)	345,71	523,80	733,32	2 шт.	2×428	2
Магазин				4×240		
Поликлиника	38,89	58,92	82,49	4×25	102	3
Жилой дом (5 этажей)	167,39	253,62	355,07	4×185	363	4
Жилой дом (5 этажей)	167,39	253,62	355,07	4×185	363	5
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	6
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	7
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	8
ТП2						
Жилой дом (9 этажей)	331,98	503,00	704,2	2 шт.	2×428	9
Промышленный магазин				4×240		
Жилой дом (5 этажей)	108,26	164,03	229,64	4×95	237	10
Жилой дом (5 этажей)	123,26	186,76	261,46	4×120	274	11
Детский сад	118,56	179,64	251,50	4×120	274	12
Жилой дом (5 этажей)	123,26	186,76	261,46	4×120	274	13
Жилой дом (5 этажей)	123,26	186,76	261,46	4×120	274	14
Жилой дом (5 этажей)	123,26	186,76	261,46	4×120	274	15
ТП3						
Школа	210,53	318,98	446,57	4×240	428	16
Жилой дом (5 этажей)	123,26	186,76	261,46	4×120	274	17
Жилой дом (9 этажей)	54,86	83,12	116,37	4×35	126	18
Жилой дом (9 этажей)	112,89	171,05	239,47	4×120	274	19
Жилой дом (9 этажей)	112,89	171,05	239,47	4×120	274	20
Жилой дом (9 этажей)	196,53	297,77	416,88	4×240	428	21
ТП4						
Жилой дом (5 этажей)	152,61	231,23	323,72	4×185	363	22
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	23
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	24
ТП5						
Жилой дом (5 этажей)	108,26	164,03	229,64	4×95	237	25
Жилой дом (5 этажей)	108,26	164,03	229,64	4×95	237	26
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	27
ТП6						
Жилой дом (9 этажей)	304,74	461,73	646,42	2 шт. 4×240	2×428	28
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	29
Жилой дом (9 этажей)	54,86	83,12	116,37	4×35	126	30
Жилой дом (5 этажей)	32,61	49,41	69,17	4×16	78	31
Детский сад	142,27	215,56	301,78	4×150	317	32
ТП7						

Продолжение таблицы 4

Наименование потребителя	S_p , кВА	I_p , А	$I_{p,m}$, А	Сечение кабеля	$I_{дон}$, А	Номер по плану
Жилой дом (6 этажей)	93,91	142,29	199,21	4×95	237	33
Жилой дом (9 этажей)	54,86	83,12	116,37	4×35	126	34
Жилой дом (5 этажей)	32,61	49,41	69,17	4×16	78	35
Жилой дом (5 этажей)	137,39	208,17	291,44	4×150	317	36
Жилой дом (6 этажей)	125,22	189,73	265,62	4×120	274	37
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	38
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	39
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	40
Жилой дом (5 этажей)	234,2	354,85	496,79	2 шт.	2×274	41
Продовольственный магазин				4×120		
Продовольственный магазин						
ТП8						
Торговый центр	122,22	185,18	259,25	4×120	274	42
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	43
Жилой дом (5 этажей)	82,61	125,17	175,24	4×70	194	44
Школа	244,56	370,55	518,77	2 шт. 4×120	2×274	45
ТП9						
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	46
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	47
Жилой дом (9 этажей)	166,93	252,92	354,09	4×240	428	48
Детский сад	237,11	359,26	502,96	2 шт. 4×120	2×274	49
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	50
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	51
Жилой дом (9 этажей)	166,93	252,92	354,09	4×240	428	52
ТП10						
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	53
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	54
Жилой дом (9 этажей)	231,42	350,64	490,90	2 шт.	2×274	55
Продовольственный магазин				4×120		
Продовольственный магазин						
Парикмахерская						
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	56
Жилой дом (9 этажей)	137,63	208,53	291,94	4×150	317	57
ТП11						
Жилой дом (5 этажей)	82,23	124,59	174,43	4×70	194	58
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	59
Жилой дом (9 этажей)	156,11	236,53	331,14	4×185	363	60
Кафе						
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	61
Жилой дом (5 этажей)	74,57	112,98	158,17	4×70	194	62
Жилой дом (5 этажей)	74,57	112,98	158,17	4×70	194	63
Детский сад	94,85	143,71	201,19	4×95	237	64
Жилой дом (6 этажей)	161,1	244,09	341,73	4×185	363	65
Магазин						
Библиотека						

Продолжение таблицы 4

Наименование потребителя	S_p , кВА	I_p , А	$I_{p.m}$, А	Сечение кабеля	$I_{доп}$, А	Номер по плану
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	66
ТП12						
Жилой дом (5 этажей)	139,1	210,76	295,06	4×150	317	67
Магазин						
Парикмахерская						
Жилой дом (9 этажей)	67,38	102,09	142,93	4×50	158	68
Аптека						
Жилой дом (5 этажей)	115,87	175,56	245,78			69
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	70
Детский сад	94,85	143,71	201,19	4×95	237	71
Жилой дом (5 этажей)	92,39	139,98	195,97	4×95	237	72
Жилой дом (5 этажей)	74,57	112,98	158,17	4×70	194	73
Жилой дом (5 этажей)	74,57	112,98	158,17	4×70	194	74
Жилой дом (5 этажей)	74,57	112,98	158,17	4×70	194	75

В результате проведения расчёта, на всех линиях участка электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим приняты новые современные кабельные линии с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвПбШв (изготовитель – ООО «Камский Кабель») различных сечений.

При этом выбрана и обоснована радиальная схема для питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона, которая является оптимальным решением для организации электроснабжения низковольтных потребителей. Установлено, что применение данной схемы обусловлено рядом технических, экономических и эксплуатационных факторов, которые делают её предпочтительной в условиях конкретного микрорайона.

4.3 Усовершенствование методов определения мест повреждения в кабельных линиях

Усовершенствование методов определения мест повреждения в кабельных линиях системы электроснабжения микрорайона является актуальной и необходимой задачей в современном энергетическом секторе.

Точное и оперативное выявление мест неисправностей в кабельных сетях напрямую влияет на надёжность и эффективность электроснабжения, а также на качество жизни населения.

Необходимость данного мероприятия обусловлена несколькими ключевыми факторами.

Во-первых, увеличение протяжённости и сложности кабельных сетей в связи с урбанизацией и ростом энергопотребления усложняет процессы обслуживания и ремонта. Традиционные методы обнаружения повреждений, основанные на поэтапном отключении участков и визуальном осмотре, становятся менее эффективными и требуют значительных временных и трудовых ресурсов.

Во-вторых, задержки в обнаружении и устранении повреждений приводят к длительным перерывам в электроснабжении, что негативно сказывается на работе критически важных объектов инфраструктуры, таких как медицинские учреждения, школы и системы связи. Наличие указанного фактора повышает социальную напряжённость и может привести к значительным экономическим потерям как для потребителей, так и для энергоснабжающих организаций.

Известные методы обнаружения неисправностей повреждений в кабельных линиях разделяются на две большие группы [13], представленные на рисунке 5.



Рисунок 5 – Методы обнаружения неисправностей повреждений в кабельных линиях

Усовершенствование методов, включая внедрение современных диагностических технологий, таких как рефлектометрия в области времени,

акустические и импульсные методы, позволяет значительно повысить точность и скорость локализации повреждений, что позволяет не только быстро реагировать на возникшие неисправности, но и предсказывать возможные проблемы на основе анализа параметров работы сети.

Актуальность данного мероприятия подтверждается и экономической целесообразностью. Сокращение времени простоя оборудования и уменьшение затрат на ремонтные работы повышает общую эффективность эксплуатации системы электроснабжения. Кроме того, повышение надёжности электроснабжения способствует улучшению инвестиционной привлекательности микрорайона, стимулируя развитие бизнеса и социальной инфраструктуры.

С учётом государственной политики в области цифровизации и модернизации энергетического сектора, внедрение усовершенствованных методов диагностики и мониторинга кабельных сетей соответствует приоритетам развития отрасли. Данный аспект способствует повышению энергетической безопасности, эффективному использованию ресурсов и внедрению инноваций.

Таким образом, усовершенствование методов определения мест повреждения в кабельных линиях системы электроснабжения микрорайона является стратегически важным мероприятием, которое направлено на повышение надёжности и устойчивости энергосистемы, улучшение качества обслуживания потребителей и соответствие современным техническим и экономическим требованиям.

В работе предлагается применять для решения данной задачи все перечисленные методы обнаружения мест повреждения в кабельных линиях, с применением автоматизированных систем управления и контроля электроэнергии. Такой подход приведёт к уменьшению времени поиска повреждений, а также автоматической локализации повреждённого участка и уменьшению времени восстановления повреждённого кабеля.

Таким образом, данная проблема будет решена.

Выводы по разделу.

В результате проведения модернизации питающей и распределительной сети 10 кВ, для питания РП-10 кВ от энергосистемы выбраны и подтверждены два силовых кабеля марки АПвКВнг(А)-LS 3×120/16, а для питания трёх магистралей 10 кВ М1-М3 от шин РП-10 кВ обосновано применение кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×50/16 (с использованием петлевой схемы, выбор которой детально обоснован в работе).

Кроме того, на всех линиях участка электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим приняты новые современные кабельные линии с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвПБШв (изготовитель – ООО «Камский Кабель») различных сечений.

При этом выбрана и обоснована радиальная схема для питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона, которая является оптимальным решением для организации электроснабжения низковольтных потребителей. Установлено, что применение данной схемы обусловлено рядом технических, экономических и эксплуатационных факторов, которые делают её предпочтительной в условиях конкретного микрорайона.

С целью усовершенствования методов определения мест повреждения в кабельных линиях, предлагается применять для этой цели все известные методы обнаружения мест повреждения в кабельных линиях, в совокупности с автоматизированными системами управления и контроля электроэнергией. Такой подход приведёт к уменьшению времени поиска повреждений, а также автоматической локализации повреждённого участка и уменьшению времени восстановления повреждённого кабеля. Таким образом, данная проблема будет решена.

5 Расчет токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения микрорайона является важным этапом при модернизации и эксплуатации электрических сетей. Необходимость данного мероприятия обусловлена несколькими ключевыми аспектами, связанными с обеспечением надёжности, безопасности и эффективности работы энергосистемы.

Прежде всего, знание точных значений токов короткого замыкания позволяет правильно выбрать и настроить аппараты защиты и коммутации.

Релейная защита и другие защитные устройства (в частности, высоковольтные выключатели, предохранители в сетях выше 1 кВ и автоматические воздушные выключатели в сетях 0,38/0,22 кВ) должны быть рассчитаны на отключение максимальных возможных токов, возникающих при коротких замыканиях. Неправильно настроенные устройства могут не справиться с аварийной ситуацией, что приведёт к повреждению оборудования, длительным перерывам в электроснабжении и потенциально опасным последствиям для населения.

Также расчёт токов короткого замыкания является основой для обеспечения селективности системы релейной защиты. Селективность позволяет ограничить зону отключения при аварии только повреждённым участком сети, сохраняя электроснабжение остальных потребителей. Данный аспект особенно важен для микрорайона Киселевка г. Ишим, где перерывы в подаче электроэнергии могут негативно сказаться на работе социально значимых объектов, таких как поликлиника, школы, детские сады и другие важные учреждения.

Кроме того, расчёт токов короткого замыкания необходим для оценки термических и электродинамических нагрузок на элементы сети. Кабельные линии, шины, трансформаторы и другие компоненты должны выдерживать воздействия, возникающие при аварийных режимах работы. Правильный выбор сечений проводников, конструктивных элементов и материалов

обеспечит долговечность и надёжность системы, предотвращая преждевременный износ и аварии.

Актуальность данного расчёта особенно высока в условиях роста энергопотребления и усложнения конфигурации сетей микрорайона Киселевка г. Ишим. Подключение новых потребителей, увеличение нагрузок и модернизация оборудования изменяют параметры сети, что может привести к изменению значений токов короткого замыкания. Следовательно, без обновлённых расчётов возможно возникновение ситуаций, когда существующие защитные устройства и оборудование не будут соответствовать новым условиям эксплуатации.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения микрорайона не только необходим для обеспечения безопасной и надёжной работы энергосистемы, но и актуален в свете современных требований к качеству электроснабжения, энергоэффективности и устойчивому развитию городской инфраструктуры.

При расчёте токов КЗ выбирается наиболее тяжёлый режим трёхфазного короткого замыкания.

Таким образом, в результате проведения расчёта токов короткого замыкания в СЭС микрорайона Киселевка г. Ишим, планируется определить максимальные значения расчётных симметричных токов КЗ в трёхфазном режиме в сети 10 кВ и 0,4 кВ. Кроме того, необходимо с учётом рекомендуемых ударных коэффициентов, рассчитать их ударные токи.

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 микрорайона приведена в работе на рисунке 6.

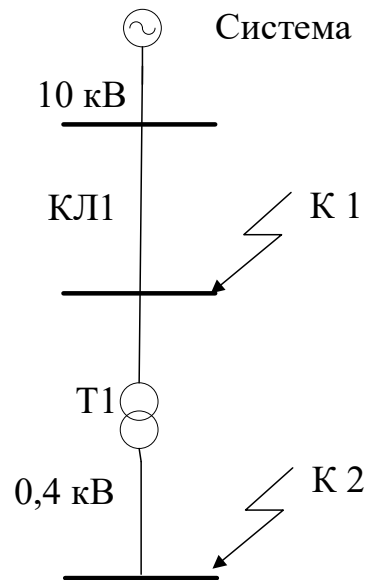


Рисунок 6 – Схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения микрорайона

Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения микрорайона представлена на рисунке 7.

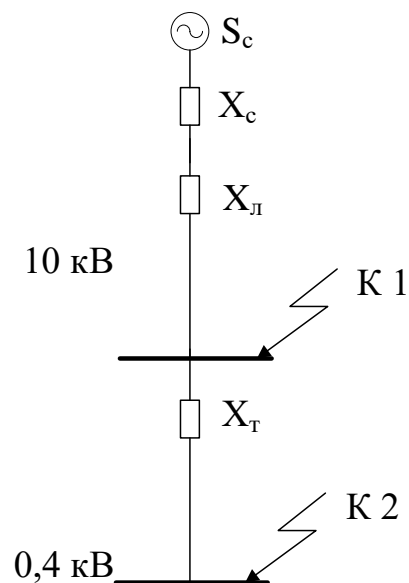


Рисунок 7 – Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения микрорайона

Рассчитываются параметры схемы замещения.

«Базисные условия» [15]:

$$\begin{aligned}
S_{\bar{o}} &= S_c = 1000 \text{ МВА}, \\
U_{\bar{o}} &= 10,5 \text{ кВ}, \\
I_{\bar{o}} &= \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}}, \text{ кА}, \\
I_{\bar{o}} &= \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}.
\end{aligned}
\tag{26}$$

«Сопротивления схемы замещения» [15]:

$$x_c = \frac{S_{\bar{o}}}{S_c}, \tag{27}$$

$$x_c = 1,$$

$$r_c = \frac{x_c}{50}, \tag{28}$$

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

«Сопротивления питающей кабельной линии 10 кВ» [15]:

$$x_n = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}, \tag{29}$$

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

$$r_n = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}, \tag{30}$$

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

«Активное сопротивление трансформатора Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения микрорайона» [15]:

$$r_m = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_n^2}{S_{\text{ном.т.}}^2}, \quad (31)$$

где ΔP_{κ} - потери короткого замыкания силового трансформатора Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения микрорайона (справочные данные), кВт;
 $S_{\text{ном.т.}}$ - номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, принятого для установки на Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения микрорайона, кВА.

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

«Индуктивное сопротивление трансформатора» [15]:

$$x_m = \frac{U_{\kappa} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{\text{ном.т.}}^2}, \quad (32)$$

где U_{κ} - напряжение короткого замыкания силового трансформатора Т1 (ТП-10/0,4 кВ) системы электроснабжения микрорайона (справочные данные), %.

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

«Суммарное полное сопротивление трансформатора» [15]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}, \quad (33)$$

$$Z_m = \sqrt{2^2 + 0,065^2} \approx 2,00.$$

«Суммарные сопротивления к точке К1» [15]:

$$x_{\Sigma} = x_c + x_n, \quad (34)$$

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

$$r_{\Sigma} = r_c + r_n, \quad (35)$$

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

$$z = \sqrt{x_{\Sigma}^2 - r_{\Sigma}^2}, \quad (36)$$

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

«Ток КЗ в точке К1» [15]:

$$I_{\Pi 1}^{(3)} = \frac{I_{\delta}}{z}, \text{ кА}, \quad (37)$$

$$I_{\Pi 1}^{(3)} = \frac{55}{8,42} = 6,5 \text{ кА}.$$

«Ударный ток КЗ в точке К1» [15]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi 1}^{(3)} \cdot K_y, \text{ кА}, \quad (38)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [15].

«Так как на шинах питающей энергосистемы $\beta'' = 1$, поэтому» [15]:

$$I_{\infty} = I'' = I_n. \quad (39)$$

«Следовательно, ударный коэффициент можно принять равным единице» [15]:

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

«Суммарные сопротивления к точке К2» [15]:

$$x_{\Sigma} = x_c + x_l + x_m, \quad (40)$$

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

$$r_{\Sigma} = r_c + r_l + r_m, \quad (41)$$

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

$$z = \sqrt{x_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma}^2}, \quad (42)$$

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

«Ток КЗ в точке К2» [15]:

$$I_{\Pi 2}^{(3)} = \frac{I_{\sigma}}{z}, \text{ кА}, \quad (43)$$

$$I_{\Pi 2}^{(3)} = \frac{55}{10,37} = 5,3 \text{ кА}.$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [15]:

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi 2}^{(3)} \cdot K_y, \text{ кА}, \quad (44)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [15].

«Так как на шинах питающей энергосистемы $\beta'' = 1$ » [15]:

$$I_{\infty} = I'' = I_n. \quad (45)$$

«Ударный коэффициент можно принять равным единице» [15]:

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

Результаты расчётов токов КЗ в системе электроснабжения микрорайона представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчётов токов КЗ в системе электроснабжения микрорайона

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
$i_{уд.К}$	9,2	7,5

Полученные результаты токов КЗ будут использованы в работе далее.

Выводы по разделу.

В результате проведения расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим, получены следующие основные результаты:

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в электрической сети 10 кВ составляет $I_{к3}^{(3)} = 6,5$ кА значение ударного тока трёхфазного КЗ $i_{уд.К} = 9,2$ кА;
- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в электрической сети составляет $I_{к3}^{(3)} = 5,3$ кА значение ударного тока трёхфазного КЗ $i_{уд.К} = 7,5$ кА.

6 Выбор и проверка электрических аппаратов

В ходе проведённого исследования установлено, что на всех трансформаторных подстанциях ТП-10/0,4 кВ микрорайона Киселёвка города Ишима эксплуатируется устаревшее и ненадёжное оборудование. Данное обстоятельство привело к значительному снижению коммутационно-защитных характеристик системы электроснабжения микрорайона.

В связи с выявленной проблемой, предлагается осуществить проверку и последующую модернизацию существующих коммутационных и защитных аппаратов, расположенных в распределительных устройствах 10 кВ, питающих трансформаторные подстанции микрорайона.

Правильный выбор электрических аппаратов на напряжение 10 кВ включает определение их основных параметров, таких как номинальное напряжение, номинальный ток, допустимая нагрузка, способность выдерживать токи короткого замыкания и условия эксплуатации. Выбранные аппараты должны соответствовать требованиям системы и характеристикам подключаемых нагрузок.

Важным этапом является проверка выбранных аппаратов на соответствие нормативным требованиям и условиям эксплуатации. Процедура включает анализ их устойчивости к перегрузкам, способности отключать токи короткого замыкания, а также проверку совместимости с другими элементами системы. Необходимо также оценить их надёжность и долговечность в реальных условиях эксплуатации [13].

Таким образом, выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ в системе электроснабжения микрорайона являются ключевыми процессами, от которых зависят надёжность, безопасность и эффективность всей энергосистемы. Проведение указанных этапов обеспечивает соответствие системы всем требованиям и стандартам, гарантируя её стабильную и безопасную эксплуатацию.

Исходя из принятой ранее схемы питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона, 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 [11].

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

Таблица 6 – Результаты выбора выключателей 10 кВ СЭС микрорайона для установки в ячейках питающего РП-10 кВ микрорайона (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)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 254,66 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 6,5 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 =$ $= 126,75 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 52^2 \cdot 3 =$ $= 8112 \text{ кА}^2\text{с}$

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

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

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-СЭЩ-10	2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{60,0}{\leq 60,0}$

Результаты выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ для установки в ячейках питающего РП-10 кВ микрорайона 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-10/12,7/10/400 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 254,66 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 = 126,75 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 48000 \text{ кА}^2 \text{ с}$

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

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

Таблица 10 – Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ СЭС микрорайона 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	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$1,1 - 1,5 I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5 I_{ном.т} = 1,5 \times 57,8 = 86,7 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 100 \text{ А}$
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 100 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,5^2 \cdot 3 = 126,75 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Таким образом, для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона, 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 микрорайона Киселевка г. Ишим.

Далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов в питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим. Для данной цели выбираются современные автоматические выключатели марки ВА [1].

В работе следует выбрать следующие аппараты сети 0,38/0,22 кВ:

- автоматы ввода всех ТП-10/0,4 кВ СЭС микрорайона – данные автоматические выключатели обеспечивают защиту трансформаторных подстанций, защищая её от перегрузок и коротких замыканий, а также обеспечивая возможность коммутации (при необходимости);
- автоматы ввода распределительной сети потребителей 0,4 кВ (для защиты и коммутации ВРУ-0,4 кВ объектов микрорайона). Они обеспечивают надёжную работу потребителей при возникновении перегрузок и коротких замыканий в распределительной сети микрорайона.

Известно, что при выборе автоматических выключателей необходимо учитывать все рекомендуемые технические параметры. Такой подход позволяет обеспечить долговечность и эффективную работу оборудования в условиях эксплуатации микрорайона.

Следовательно, корректный выбор и настройка автоматических выключателей способствуют повышению устойчивости и стабильности работы системы, минимизируя риски аварий и обеспечивая длительную эксплуатацию оборудования. Автоматы выбираются по методике [19].

Номинальный ток автомата [19]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (46)$$

где $I_{ном.а}$ - номинальный ток автомата, А;

I_p - расчётный ток сети, по которому выбирается автомат, А.

Тепловые расцепители, входящие в состав автоматов серии ВА, реагируют на перегрузки в сети, защищая оборудование от длительных воздействий повышенных токов. Регулируемость тепловых расцепителей даёт возможность подстроиться под конкретные параметры потребителей,

что особенно важно в условиях переменных нагрузок, характерных для потребителей гражданских объектов (в частности, для микрорайона).

Данный аспект способствует минимизации риска перегрева и последующих повреждений оборудования, продлевая его срок службы [13].

Номинальный ток уставки теплового расцепителя [19]:

$$I_{y.m.p} \geq [1,05 - 1,1] \cdot I_p \cdot \quad (47)$$

где $I_{y.m.p}$ - номинальный ток уставки теплового расцепителя, А.

Электромагнитные расцепители, в свою очередь, предназначены для защиты от коротких замыканий.

Возможность регулировки уставок электромагнитных расцепителей обеспечивает быстрое и точное срабатывание при возникновении аварийных ситуаций, что предотвращает серьёзные повреждения сети и оборудования.

Благодаря этому, повышается общая устойчивость и стабильность работы системы электроснабжения, что особенно важно в условиях повышенной ответственности и критической важности непрерывности производственных процессов.

Номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя автомата [19]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (48)$$

где $K_{то}$ – коэффициент тепловой отсечки автомата (указывается заводом-изготовителем), о.е.;

I_k - значение трёхфазного симметричного тока КЗ в расчётной точке сети 0,4 кВ, ближайшей к выбираемому автомату, А.

Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем [19]:

$$I_{y.э.p} \geq K \cdot I_{y.m.p.}, \quad (49)$$

где K – кратность тока уставки расцепителя.

Проверка проводится на примере вводного автомата ТП1 микрорайона.

По условию (46):

$$2000 A \geq 1519,8 A.$$

По условию (48):

$$1600 A \geq 1519,8 \cdot 1,05 = 1595,7 A.$$

По условию (49):

$$4800 A = 3 \cdot 1600 = 4800 A.$$

Таким образом, в качестве вводного автомата ТП1 (ТП-10/0,4 кВ) микрорайона, проверочным расчётом был подтверждён автомат марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000 A$, $I_{y.m.p.} = 1600 A$, $I_{y.э.p.} = 4800 A$ [1].

Для всех остальных присоединений системы электроснабжения микрорайона также выбираются автоматы серии ВА с регулируемыми расцепителями.

Автоматы серии ВА с регулируемыми тепловыми и электромагнитными расцепителями обладают рядом преимуществ, которые делают их особенно эффективными в системах электроснабжения. Таким образом, их применение на объекте исследования, полностью обосновано.

Аналогично выбраны остальные автоматы для защиты и коммутации питающей и распределительной сети микрорайона.

Результаты выбора автоматов питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора автоматов питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона

Потребитель	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
Вводные автоматы к ТП1	1519,8	ВА55-43	2000	1600	4800
Вводные автоматы к ТП2	1340,0	ВА55-43	2000	1600	4800
Вводные автоматы к ТП3	850,8	ВА83-41	1000	1000	3000
Вводные автоматы к ТП4	530,3	ВА52-39	630	630	1890
Вводные автоматы к ТП5	530,3	ВА52-39	630	630	1890
Вводные автоматы к ТП6	850,8	ВА83-41	1000	1000	3000
Вводные автоматы к ТП7	1340,0	ВА55-43	2000	1600	4800
Вводные автоматы к ТП8	530,3	ВА52-39	630	630	1890
Вводные автоматы к ТП9	1340,0	ВА55-43	2000	1600	4800
Вводные автоматы к ТП10	1340,0	ВА55-43	2000	1600	4800
Вводные автоматы к ТП11	1340,0	ВА55-43	2000	1600	4800
Вводные автоматы к ТП12	1340,0	ВА55-43	2000	1600	4800

Результаты выбора автоматов распределительной сети 0,38/0,22 кВ микрорайона приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора автоматов распределительной сети 0,38/0,22 кВ микрорайона

Наименование потребителя	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А	Номер по плану
ТП1						
Жилой дом (9 этажей)	533,44	ВА52-39	630	630	1890	1
Магазин						
Кафе						
Парикмахерская						
Жилой дом (9 этажей)	733,32	ВА83-41	1000	800	2400	2
Магазин						
Поликлиника	82,49	ВА57-35	100	100	300	3
Жилой дом (5 этажей)	355,07	ВА 51-39	400	400	1200	4
Жилой дом (5 этажей)	355,07	ВА 51-39	400	400	1200	5
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	6
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	7
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	8
ТП2						
Жилой дом (9 этажей)	704,2	ВА83-41	1000	800	2400	9
Промышленный магазин						
Жилой дом (5 этажей)	229,64	ВА 52-35	250	250	750	10
Жилой дом (5 этажей)	261,46	ВА 51-39	400	300	900	11
Детский сад	251,50	ВА 51-39	400	300	900	12
Жилой дом (5 этажей)	261,46	ВА 51-39	400	300	900	13
Жилой дом (5 этажей)	261,46	ВА 51-39	400	300	900	14
Жилой дом (5 этажей)	261,46	ВА 51-39	400	300	900	15
ТП3						

Продолжение таблицы 12

Наименование потребителя	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А	Номер по плану
Школа	446,57	BA52-39	630	500	1500	16
Жилой дом (5 этажей)	261,46	BA 51-39	400	300	900	17
Жилой дом (9 этажей)	116,37	BA 88-33	160	160	480	18
Жилой дом (9 этажей)	239,47	BA 52-35	250	250	750	19
Жилой дом (9 этажей)	239,47	BA 52-35	250	250	750	20
Жилой дом (9 этажей)	416,88	BA52-39	630	500	1500	21
ТП4						
Жилой дом (5 этажей)	323,72	BA 51-39	400	400	1200	22
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	23
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	24
ТП5						
Жилой дом (5 этажей)	229,64	BA 52-35	250	250	750	25
Жилой дом (5 этажей)	229,64	BA 52-35	250	250	750	26
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	27
ТП6						
Жилой дом (9 этажей)	646,42	BA83-41	1000	700	2100	28
Жилой дом (5 этажей)	195,97	BA 52-35	250	200	600	29
Жилой дом (9 этажей)	116,37	BA 88-33	160	120	260	30
Жилой дом (5 этажей)	69,17	BA57-35	100	80	240	31
Детский сад	301,78	BA 51-39	400	400	1200	32
ТП7						
Жилой дом (6 этажей)	199,21	BA 52-35	250	200	600	33
Жилой дом (9 этажей)	116,37	BA 88-33	160	120	260	34
Жилой дом (5 этажей)	69,17	BA57-35	100	80	240	35
Жилой дом (5 этажей)	291,44	BA 51-39	400	300	900	36
Жилой дом (6 этажей)	265,62	BA 51-39	400	300	900	37
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	38
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	39
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	40
Жилой дом (5 этажей)	496,79	BA52-39	630	500	1500	41
Продовольственный магазин						
Продовольственный магазин						
ТП8						
Торговый центр	259,25	BA 51-39	400	400	1200	42
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	43
Жилой дом (5 этажей)	175,24	BA 52-35	250	200	600	44
Школа	518,77	BA52-39	630	630	1890	45
ТП9						
Жилой дом (9 этажей)	291,94	BA 51-39	400	300	900	46
Жилой дом (9 этажей)	291,94	BA 51-39	400	300	900	47
Жилой дом (9 этажей)	354,09	BA 51-39	400	400	900	48
Детский сад	502,96	BA52-39	630	630	1890	49
Жилой дом (9 этажей)	291,94	BA 51-39	400	300	900	50
Жилой дом (9 этажей)	291,94	BA 51-39	400	300	900	51
Жилой дом (9 этажей)	354,09	BA 51-39	400	400	1200	52
ТП10						
Жилой дом (9 этажей)	291,94	BA 51-39	400	300	900	53

Продолжение таблицы 12

Наименование потребителя	I_p, A	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$	Номер по плану
Жилой дом (9 этажей)	291,94	ВА 51-39	400	300	900	54
Жилой дом (9 этажей)	490,90	ВА52-39	630	500	1500	55
Продовольственный магазин						
Продовольственный магазин						
Парикмахерская						
Жилой дом (9 этажей)	291,94	ВА 51-39	400	300	900	56
Жилой дом (9 этажей)	291,94	ВА 51-39	400	300	900	57
ТП11						
Жилой дом (5 этажей)	174,43	ВА 52-35	250	200	600	58
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	59
Жилой дом (9 этажей)	331,14	ВА 51-39	400	400	1200	60
Кафе						
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	61
Жилой дом (5 этажей)	158,17	ВА 88-33	160	160	480	62
Жилой дом (5 этажей)	158,17	ВА 88-33	160	160	480	63
Детский сад	201,19	ВА 52-35	250	250	750	64
Жилой дом (6 этажей)	341,73	ВА 51-39	400	400	1200	65
Магазин						
Библиотека						
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	66
ТП12						
Жилой дом (5 этажей)	295,06	ВА 51-39	400	300	1200	67
Магазин						
Парикмахерская						
Жилой дом (9 этажей)	142,93	ВА 88-33	160	160	480	68
Аптека						
Жилой дом (5 этажей)	245,78	ВА 52-35	250	250	750	69
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	70
Детский сад	201,19	ВА 52-35	250	250	750	71
Жилой дом (5 этажей)	195,97	ВА 52-35	250	200	600	72
Жилой дом (5 этажей)	158,17	ВА 88-33	160	160	480	73
Жилой дом (5 этажей)	158,17	ВА 88-33	160	160	480	74
Жилой дом (5 этажей)	158,17	ВА 88-33	160	160	480	75

В результате проведения расчётов, подтверждены все установленные ранее автоматические выключатели марки ВА различных типономиналов в сети 0,38/0,22 кВ микрорайона:

- выключатели автоматические вводные ТП1-ТП10;
- выключатели автоматические линейные ВРУ-0,4 кВ потребителей, получающие питание от ТП1-ТП10.

Выбраны и проверены с целью обеспечения защиты и коммутации новых присоединений:

- выключатели автоматические вводные марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000$ А, $I_{у.т.р.} = 1600$ А, $I_{у.э.р.} = 4800$ А, применяемые для коммутации и защиты новых ТП1-ТП10;
- выключатели автоматические линейные марки ВА различных типономиналов, применяемые для коммутации и защиты ВРУ-0,4 кВ перспективных потребителей, получающие питание от новых ТП1-ТП10.

Все выбранные аппараты напряжением 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения микрорайона после проведения реконструкции показаны также в графической части работы.

Выводы по разделу.

Выбраны и проверены все аппараты для установки в сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ микрорайона.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона, 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.

Все выбранные электрические аппараты проверены на соответствие параметрам установки в системе электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим.

Расчётным путём подтверждены все установленные ранее автоматические выключатели марки ВА различных типономиналов в сети

0,38/0,22 кВ микрорайона:

- выключатели автоматические вводные ТП1-ТП10;
- выключатели автоматические линейные ВРУ-0,4 кВ потребителей, получающие питание от ТП1-ТП10.

Выбраны и проверены с целью обеспечения защиты и коммутации новых присоединений:

- выключатели автоматические вводные марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000$ А, $I_{у.т.р.} = 1600$ А, $I_{у.э.р.} = 4800$ А, применяемые для коммутации и защиты новых ТП1-ТП10;
- выключатели автоматические линейные марки ВА различных типономиналов, применяемые для коммутации и защиты ВРУ-0,4 кВ перспективных потребителей, получающие питание от новых ТП1-ТП10.

7 Реконструкция вторичных цепей микрорайона

Реконструкция вторичных сетей микрорайона включает выбор новых современных решений для обеспечения повышенного уровня надёжности, безопасности и экономичности в системе электроснабжения микрорайона.

В первую очередь, выбираются устройства релейной защиты и автоматики для применения на объекте. Для данной цели выбирается оборудование российской компании «ПАРМА» [8].

В работе для решения поставленной задачи предлагается выбрать микропроцессорные блоки РЗА серии «ПАРМА Рх-2», представленные на рисунке 8.



Рисунок 8 – Блоки РЗА марки «ПАРМА Рх-2»

Данное оборудование монтируется в шкафу автономной токовой защиты «ПАРМА ШЭ АЗТ-301», который показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – «Шкаф автономной токовой защиты «ПАРМА ШЭ АЗТ-301»»

[8]

Для автоматической частотной разгрузки потребителей микрорайона, выбрано «микропроцессорное устройство автоматической частотной разгрузки «ПАРМА УАЧР 12»» [8], показанное на рисунке 10.



Рисунок 10 – «Микропроцессорное устройство автоматической частотной разгрузки «ПАРМА УАЧР 12»» [8]

Данное оборудование монтируется в шкафу частотной разгрузки «ПАРМА ШЭ АЧР», представленном на рисунке 11.



Рисунок 11 – «Шкаф частотной разгрузки «ПАРМА ШЭ АЧР»» [8]

Выбор оборудования российской компании «ПАРМА» для системы вторичных цепей микрорайона обоснован рядом технических и функциональных преимуществ, способствующих повышению надёжности и эффективности работы энергосистемы.

Микропроцессорные блоки релейной защиты и автоматики серии «ПАРМА Rx-2» отличаются высокой скоростью обработки сигналов и

точностью, что обеспечивает быстрое и селективное реагирование на аварийные ситуации. Их гибкая архитектура позволяет реализовывать сложные алгоритмы защиты и адаптироваться к специфическим условиям эксплуатации, что важно для стабильности сети при динамически изменяющихся нагрузках.

Шкаф автономной токовой защиты «ПАРМА ШЭ АЗТ-301» обеспечивает независимую защиту от токовых перегрузок и коротких замыканий, повышая общую надёжность системы электроснабжения. Конструкция шкафа предусматривает удобство монтажа и обслуживания, а также совместимость с различными типами первичного оборудования, что позволяет интегрировать его в существующую инфраструктуру без существенных модификаций.

Микропроцессорное устройство автоматической частотной разгрузки «ПАРМА УАЧР 12» играет ключевую роль в предотвращении системных аварий, связанных с отклонением частоты в сети. Устройство осуществляет автоматическое отключение нагрузки при снижении частоты ниже допустимых пределов, стабилизируя работу энергосистемы и предотвращая её коллапс. Высокая точность и быстродействие устройства обеспечивают своевременное реагирование на опасные изменения параметров сети.

Шкаф частотной разгрузки «ПАРМА ШЭ АЧР» предназначен для размещения и подключения устройств автоматической частотной разгрузки, обеспечивая надёжное функционирование и защиту оборудования. Конструктивные особенности шкафа способствуют удобству эксплуатации и обслуживания, а также защищают оборудование от внешних воздействий и неблагоприятных условий окружающей среды.

Использование оборудования компании «ПАРМА» обеспечивает комплексное решение задач релейной защиты и автоматики, соответствующее современным требованиям и стандартам в энергетической отрасли.

Высокое качество исполнения, надёжность и технологичность оборудования способствуют повышению эффективности работы системы электроснабжения микрорайона, снижению эксплуатационных затрат и повышению уровня безопасности.

Кроме того, отечественное производство обеспечивает доступность сервисного обслуживания и технической поддержки, что является важным фактором при выборе оборудования.

Таким образом, выбор перечисленного оборудования для применения на объекте, обоснован.

Кроме того, благодаря внедрению данного современного оборудования, условия безопасности на объекте также будут повышены, что требует требованиям [12].

Выводы по разделу.

Выбрано и обосновано для применения в системе вторичных цепей микрорайона, следующее современное оборудование российской компании «ПАРМА»:

- микропроцессорные блоки РЗиА серии «ПАРМА Рх-2»;
- шкаф автономной токовой защиты «ПАРМА ШЭ АЗТ-301»;
- микропроцессорное устройство автоматической частотной разгрузки «ПАРМА УАЧР 12»;
- шкаф частотной разгрузки «ПАРМА ШЭ АЧР».

Заключение

В результате выполнена реконструкция схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселёвка города Ишима. Такая реконструкция обусловлена планируемым подключением новой нагрузки потребителей, ввод которых в эксплуатацию запланирован в ближайшее время.

В результате проведения анализа исходных данных по микрорайону было установлено следующее:

- установлено, что к существующей нагрузке микрорайона Киселевка г. Ишим относится 57 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности (жилые многоэтажные дома этажностью 5,6 и 9 этажей, поликлиника, магазины, кафе, парикмахерская, школы, детские сады, торговый центр, библиотека). Показано, что вся существующая нагрузка микрорайона получает питание от десяти двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ;
- обосновано, что необходимо подключить к существующей системе электроснабжения микрорайона дополнительную (перспективную) нагрузку, состоящую из 18 объектов, включающих потребители 2 и 3 категорий надёжности (жилые многоэтажные дома этажностью 5,6 и 9 этажей, магазины, кафе, парикмахерская, детские сады, аптека, библиотека). Установлено, что в составе перспективной нагрузки присутствуют потребители 2 и 3 категорий надёжности;
- установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ и к потребителям на напряжении 0,38/0,22 кВ, используются устаревшие и изношенные кабельные линии марки АСБ-10 и АВВГ-0,4 кВ, которые полностью выработали свой технический ресурс. Указанный аспект также

приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей;

- показано, что на всех ТП-10/0,4 кВ в РУ-10 кВ установлено устаревшее и ненадёжное оборудование, благодаря чему значительно уменьшилась коммутационно-защитная характеристика системы электроснабжения микрорайона.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к системам электроснабжения жилых объектов, предложен комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим:

- так как новая (перспективная нагрузка) состоит из потребителей преимущественно 2 категории надёжности и требует резервирования, её предложено запитать от двух новых двухтрансформаторных подстанций ТП11 и ТП12, обеспечив в схеме на сторонах 10 кВ и 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования. Учитывая схему электроснабжения микрорайона, предложено запитать указанные ТП-10/0,4 кВ от магистрали МЗ на напряжении 10 кВ;
- с учётом того, что проводники электрических сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ микрорайона выполнены кабельными линиями, находящимися в неудовлетворительном состоянии, а также не обеспечивающих необходимые условия электробезопасности и надёжности, предлагается заменить на современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Также в работе, с учётом недостаточно быстрого и качественного выявления неисправностей и нахождения повреждения силовых кабелей, предлагается разработать улучшенную методику определения мест повреждения в кабельных линиях электропередачи системы электроснабжения микрорайона;

- предлагается провести проверку и последующую модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ микрорайона. При этом планируется выбрать новое современное оборудование, применение которого обеспечит повышение показателей надёжности и безопасности в системе электроснабжения микрорайона;
- предлагается выбрать новые силовые трансформаторы для установки на ТП10 и ТП11, предназначенные для питания перспективной нагрузки, а также проверить на соответствие расчётным параметрам нагрузки силовые трансформаторы всех понизительных подстанций микрорайона;
- требуется провести реконструкцию вторичных цепей микрорайона, для чего выбрать современные решения в данной сфере. В частности, данный вопрос касается модернизации устройств релейной защиты и автоматики системы электроснабжения микрорайона.

Разработанный комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим предлагается принять за основу и проверить расчётным путём в работе далее.

В результате проведения расчёта, на данном этапе получены значения расчётных нагрузок следующих объектов и сетей микрорайона Киселевка г. Ишим:

- отдельных линий для питания потребителей на напряжении 0,4 кВ;
- линий для питания ТП-10/0,4 кВ микрорайона (ТП1-ТП12);
- питающих магистралей М1-М3 напряжением 10 кВ;
- питающего РП-10 кВ.

Выбраны силовые трансформаторы марки ТМ-630/10 для установки на новых ТП11 и ТП12 системы электроснабжения микрорайона.

По результатам проверки трансформаторов подстанций микрорайона установлено, что на ТП1, ТП4, ТП5 и ТП10 рекомендуется изменить

мощности трансформаторов. На остальных трансформаторных подстанциях мощности ранее установленных трансформаторов рекомендуется оставить без изменений.

В результате проведения модернизации питающей и распределительной сети 10 кВ, для питания РП-10 кВ от энергосистемы выбраны и подтверждены два силовых кабеля марки АПвКВнг(А)-LS 3×120/16, а для питания трёх магистралей 10 кВ М1-М3 от шин РП-10 кВ обосновано применение кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×50/16 (с использованием петлевой схемы, выбор которой детально обоснован в работе). Кроме того, на всех линиях участка электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона Киселевка г. Ишим приняты новые современные кабельные линии с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвПБШв (изготовитель – ООО «Камский Кабель») различных сечений.

При этом выбрана и обоснована радиальная схема для питающей сети 0,38/0,22 кВ микрорайона, которая является оптимальным решением для организации электроснабжения низковольтных потребителей. Установлено, что применение данной схемы обусловлено рядом технических, экономических и эксплуатационных факторов, которые делают её предпочтительной в условиях конкретного микрорайона.

С целью усовершенствования методов определения мест повреждения в кабельных линиях, предлагается применять для этой цели все известные методы обнаружения мест повреждения в кабельных линиях, в совокупности с автоматизированными системами управления и контроля электроэнергией. Такой подход приведёт к уменьшению времени поиска повреждений, а также автоматической локализации повреждённого участка и уменьшению времени восстановления повреждённого кабеля. Таким образом, данная проблема будет решена.

В результате проведения расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения микрорайона Киселевка г. Ишим, получены следующие основные результаты:

- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в электрической сети 10 кВ составляет $I_{к3}^{(3)} = 6,5$ кА значение ударного тока трёхфазного КЗ $i_{уд.К} = 9,2$ кА;
- значение трёхфазного тока КЗ в максимальном режиме в электрической сети составляет $I_{к3}^{(3)} = 5,3$ кА значение ударного тока трёхфазного КЗ $i_{уд.К} = 7,5$ кА.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона, 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.

Расчётным путём подтверждены все установленные ранее автоматические выключатели марки ВА различных типономиналов в сети 0,38/0,22 кВ микрорайона:

- выключатели автоматические вводные ТП1-ТП10;
- выключатели автоматические линейные ВРУ-0,4 кВ потребителей, получающие питание от ТП1-ТП10.

Выбраны и проверены с целью обеспечения защиты и коммутации новых присоединений:

- выключатели автоматические вводные марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000$ А, $I_{у.т.р.} = 1600$ А, $I_{у.э.р.} = 4800$ А, применяемые для коммутации и защиты новых ТП1-ТП10;
- выключатели автоматические линейные марки ВА различных типономиналов, применяемые для коммутации и защиты ВРУ-0,4 кВ

перспективных потребителей, получающие питание от новых ТП1-ТП10.

Выбрано и обосновано для применения в системе вторичных цепей микрорайона, следующее современное оборудование российской компании «ПАРМА»:

- микропроцессорные блоки РЗиА серии «ПАРМА Рх-2»;
- шкаф автономной токовой защиты «ПАРМА ШЭ АЗТ-301»;
- микропроцессорное устройство автоматической частотной разгрузки «ПАРМА УАЧР 12»;
- шкаф частотной разгрузки «ПАРМА ШЭ АЧР».

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

Список используемых источников

1. Выключатели автоматические ВА [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkcija/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 06.10.2024).
2. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1 кВ. Допустимые токовые нагрузки кабелей. [Электронный ресурс]: URL: <https://elekom.ru/products/kabeli-silovye-s-izolyatsiej-iz-sshitogo-polietilena-na-napryazhenie-1kv> (дата обращения: 06.10.2024).
3. Кабель АПВКВнг(А)-LS – 10 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvkvng-ls-10kv/> (дата обращения: 06.10.2024).
4. Кабель АПвПбШв [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-\(1kv\)/apvpbshv-1kv/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-(1kv)/apvpbshv-1kv/) (дата обращения: 06.10.2024).
5. Карта г. Ишим [Электронный ресурс]: URL: <https://ishim.ginfo.ru/> (дата обращения: 06.10.2024).
6. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
7. Климат г. Ишима. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.weatherspark.com/y/106927/Обычная-погода-в-Ишим-Россия-весь-год> (дата обращения: 06.10.2024).
8. Компания «ПАРМА». Оборудование. [Электронный ресурс]: URL: <https://parma.spb.ru/oborudovanie/releynaya-zashchita-i-avtomatika/> (дата обращения: 06.10.2024).
9. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
10. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
11. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей,

станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

12. 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.

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

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

15. 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: 06.10.2024).

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

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

18. Трансформаторы ТМ. [Электронный ресурс]: URL: <https://transform74.ru/tr/transformatory-tm/> (дата обращения: 06.10.2024).

19. Фризен В.Э., Назаров С.Л. 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.