

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение района города населением 150 тысяч человек

Обучающийся

А.Н. Немцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Проектирование надёжной и эффективной системы электроснабжения является одной из ключевых задач для современных жилых районов, особенно с высокой плотностью населения. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью обеспечения бесперебойного и безопасного энергоснабжения микрорайона с населением 150 тысяч человек, с учётом разнообразия потребителей и растущих требований к надёжности и энергоэффективности.

Цель работы - разработать оптимальную схему электроснабжения района, обеспечивающую надёжность, гибкость и возможность перспективного расширения сети.

Задачи работы включают:

- анализ категорий потребителей электрической энергии и расчёт их электрических нагрузок,
- выбор схемы электроснабжения подстанции 110/10 кВ и сети 10 кВ в микрорайоне,
- расчёт мощности и выбор необходимого оборудования, включая трансформаторы, сечения кабельных линий и аппаратуру для распределительных устройств.

Работа состоит из четырёх основных разделов, в которых проведён анализ потребителей и разработана схема электроснабжения микрорайона с использованием тупиковой подстанции 110/10 кВ, предложена двухлучевая схема сети 10 кВ с двухсторонним питанием, рассчитаны электрические нагрузки для различных типов потребителей, включая жилые здания, социальные и коммерческие объекты. Также выполнен подбор оборудования с учётом надёжности и энергоэффективности.

Работа представлена на 52 страницах, включает 11 таблиц, 4 рисунка и 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта проектирования	5
1.1 Анализ потребителей электрической энергии	5
1.2 Разработка схемы электроснабжения потребителей района города.....	8
2 Расчет электрических нагрузок района города	12
2.1 Расчет электрических нагрузок	12
2.2 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП 110/10 кВ	21
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ.....	23
3 Расчет сечения сети.....	28
3.1 Выбор сечения линий 0,4 кВ.....	28
3.2 Выбор сечения линий 10 кВ.....	33
3.3 Расчет токов короткого замыкания	34
4 Выбор электрических аппаратов	41
4.1 Выбор коммутационных и измерительных аппаратов ОРУ 110 кВ.....	41
4.2 Выбор коммутационных и измерительных аппаратов ЗРУ 10 кВ.....	45
4.3 Конструктивные решения ТП – 10 /0,4 кВ района	46
Заключение	49
Список используемой литературы и используемых источников.....	50

Введение

В современных условиях стабильное и надёжное электроснабжение является важнейшим фактором обеспечения жизнедеятельности городов и регионов. Электроснабжение района с населением 150 тысяч человек предполагает разработку эффективных инженерных решений, направленных на удовлетворение потребностей в электрической энергии всех категорий потребителей, включая жилые, промышленные и социальные объекты. Учитывая рост электрических нагрузок и необходимость повышения энергоэффективности, вопрос проектирования систем электроснабжения становится особенно актуальным.

Цель работы - разработка схемы электроснабжения района города с учётом характеристик потребителей и расчёта электрических нагрузок для обеспечения надёжности и безопасности энергоснабжения.

Объект исследования - район города с населением 150 тысяч человек, включающий жилые и коммерческие объекты, социальные учреждения, а также промышленные предприятия.

Предмет исследования - системы электроснабжения, включая распределительные сети, трансформаторные подстанции и электрические нагрузки района.

Основные задачи работы:

- провести анализ потребителей электрической энергии в районе;
- разработать схему электроснабжения района города;
- рассчитать электрические нагрузки и выбрать оптимальные параметры трансформаторов;
- определить сечение электрических сетей, включая 0,4 кВ и 10 кВ;
- выбрать электрические аппараты, необходимые для стабильной работы системы электроснабжения;
- разработать технические решения для трансформаторных подстанций.

1 Характеристика объекта проектирования

1.1 Анализ потребителей электрической энергии

При проектировании системы электроснабжения района города с населением 150 тысяч человек важно учитывать разнообразие потребителей электрической энергии по характеру электропотребления и показателям электрической нагрузки. Потребители делятся на несколько основных групп, каждая из которых имеет свои особенности по объёму потребляемой энергии и характеру использования электрооборудования. Ниже рассмотрим основные группы потребителей, присутствующие в данном районе.

Потребители селитебной зоны

Основные потребители района - это жилые дома, которые занимают большую часть селитебной зоны. В данном микрорайоне планируется строительство 5- и 9-этажных многоквартирных домов. Эти здания характеризуются следующими особенностями электропотребления:

- бытовые электроприёмники: освещение, бытовые электроприборы (холодильники, стиральные машины, телевизоры, микроволновые печи, электрические плиты, компьютеры и др.);
- вид нагрузки: переменная бытовая нагрузка с пиковой активностью в вечерние часы.

Электрические нагрузки жилых домов зависят от их площади, количества жильцов, а также от уровня благоустройства. Для жилых домов характерны такие виды электрических нагрузок, как:

- освещение - внутреннее и наружное освещение;
- бытовая нагрузка - использование бытовой техники и приборов;
- отопление и кондиционирование - в зависимости от системы отопления и климатической техники, используемой в домах.

Электроприёмники жилых домов относятся, как правило, ко второй и третьей категориям по надёжности электроснабжения.

Промышленные потребители

Промышленные объекты района могут включать небольшие предприятия или мастерские, такие как автосервисы, небольшие производства или склады. Эти потребители обычно имеют более высокие и стабильные нагрузки, связанные с работой оборудования, машин, систем освещения и обогрева.

Вид нагрузки: постоянная нагрузка с возможными пиковыми периодами, связанными с рабочими сменами.

Категория электроснабжения: в зависимости от типа предприятия, могут относиться ко второй или первой категории электроснабжения (при наличии ответственного оборудования).

Коммунальные и социальные объекты

В районе также будут присутствовать объекты социальной инфраструктуры, такие как школы, поликлиники, библиотеки, магазины, кафе, парикмахерские, и торговый центр. Они также имеют свои особенности в электропотреблении:

- магазины и кафе - оснащены холодильным оборудованием, кухонными приборами, системами кондиционирования, освещением и системой безопасности;
- поликлиники и школы - важные социальные объекты, требующие стабильного электроснабжения. Поликлиники должны быть отнесены к первой категории надёжности электроснабжения из-за наличия медицинского оборудования, критичного к отключениям. «Школы — ко второй категории, так как их работа также требует высокой надёжности энергоснабжения» [24];
- библиотеки и парикмахерские - относятся к третьей категории потребителей, так как их отключение не ведёт к значительным убыткам или опасности для жизни.

Категории надёжности электроснабжения потребителей

«Потребители первой категории - объекты, отключение которых может привести к значительным убыткам, опасности для жизни людей или к срыву технологических процессов. Это, в частности, поликлиники, медицинские учреждения и крупные промышленные объекты, где требуется резервное питание» [24].

Потребители второй категории - объекты, отключение которых допустимо на короткий срок. К этой категории относятся жилые дома, школы, библиотеки, магазины и торговые центры. Для второй категории также важно обеспечение резервного питания на случай отключений.

Потребители третьей категории — это объекты, кратковременное отключение которых не приводит к серьёзным последствиям. К ним можно отнести парикмахерские, небольшие магазины, кафе и другие мелкие предприятия сферы услуг.

Важные аспекты при создании системы электроснабжения

При проектировании системы электроснабжения необходимо учитывать следующие факторы:

- надёжность и бесперебойность электроснабжения: для потребителей первой и второй категорий важно предусмотреть резервные источники питания или автоматические системы переключения на резерв;
- равномерное распределение нагрузок: планирование энергоснабжения должно учитывать, как суточные, так и сезонные колебания нагрузок;
- развитие инфраструктуры: необходимо предусмотреть возможное расширение жилых и коммерческих зон в будущем, что потребует увеличения мощностей электроснабжения;
- энергоэффективность: важно учитывать современные стандарты энергосбережения и применять оборудование, соответствующее этим нормам.

С учётом указанных особенностей проект электроснабжения района должен быть гибким, надёжным и ориентированным на перспективное развитие микрорайона.

1.2 Разработка схемы электроснабжения потребителей района города

Электроснабжение жилого микрорайона с населением 150 тысяч человек осуществляется от тупиковой подстанции 110/10 кВ, расположенной на расстоянии 2,3 км за пределами микрорайона, расстояние до тупиковой подстанции от подстанции энергосистемы составляет 18 км. Для обеспечения надёжности и эффективности энергоснабжения района необходимо правильно выбрать и обосновать схему электроснабжения как для подстанции, так и для распределительной сети 10 кВ внутри микрорайона.

Для подстанции 110/10 кВ предлагается использовать схему «110-4Н - два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии». Эта схема включает два блока, каждый из которых состоит из трансформатора и двух воздушных линий, оснащённых выключателями, а также неавтоматической перемычкой между линиями.

Преимущества данной схемы перед стандартными решениями:

- надёжность: наличие двух независимых блоков с выключателями обеспечивает высокую степень надёжности электроснабжения. В случае отказа одного блока, второй может продолжить питание потребителей;
- гибкость управления: неавтоматическая перемычка между линиями позволяет в случае аварии переключить потребителей на другой источник питания вручную, что минимизирует время отключений;
- экономичность: отсутствие необходимости в автоматическом переключении снижает затраты на оборудование, обеспечивая баланс между надёжностью и стоимостью эксплуатации подстанции;

- простота эксплуатации: схема проста в управлении и обслуживании, что снижает требования к персоналу и ускоряет восстановление работы подстанции в случае аварий.

Схема №110-4Н представлена на рисунке 1.

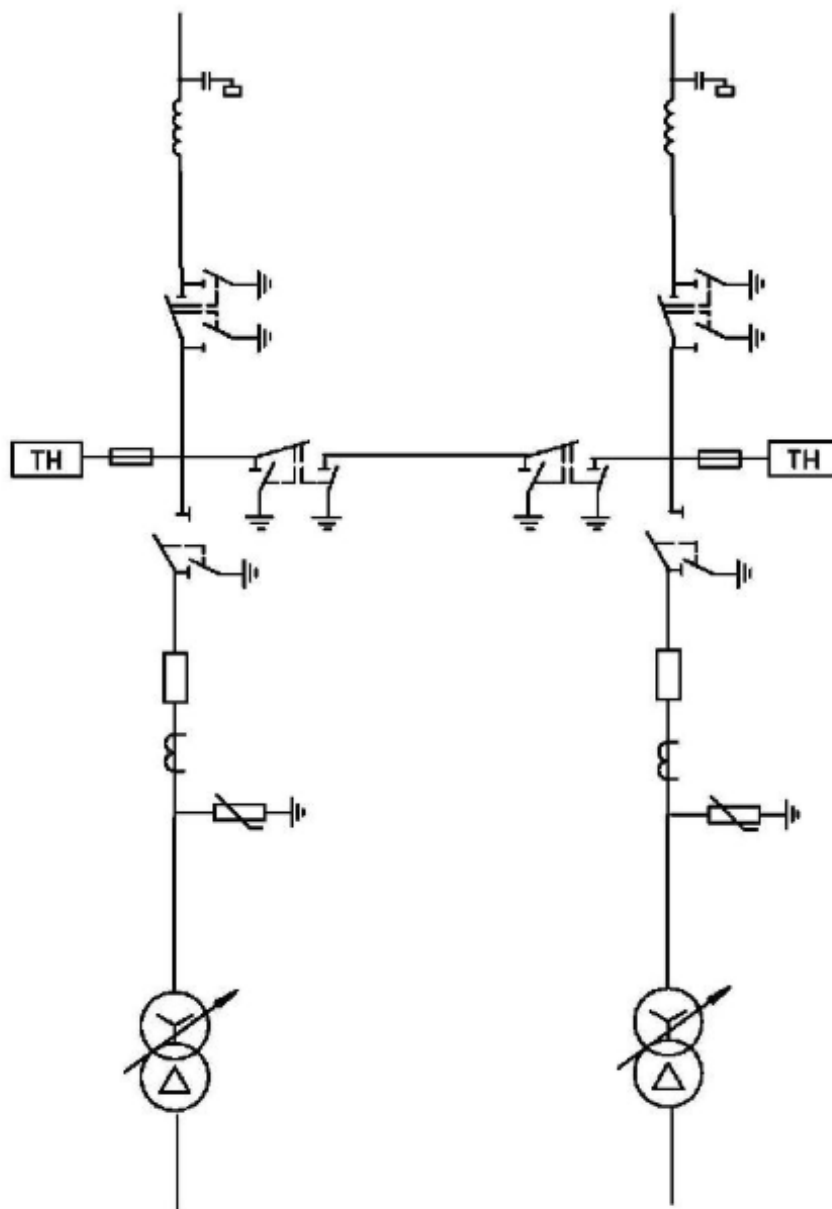


Рисунок 1 - Схема «110-4Н - два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии»

Данная схема подходит для тупиковых подстанций, где нет необходимости в постоянном резервировании линий, но при этом требуется высокая степень надёжности для ключевых потребителей.

Для распределения электроэнергии внутри жилого микрорайона на напряжении 10 кВ предлагается использовать двухлучевую схему с односторонним питанием. В этой схеме два параллельных луча (линии) обеспечивают питание потребителей, причём каждая линия запитывается только с одной стороны - от подстанции 110/10 кВ.

Преимущества двухлучевой схемы с односторонним питанием:

- экономичность: такая схема требует меньшего количества оборудования и более проста в реализации по сравнению с двухсторонним питанием, что снижает капитальные затраты;
- простота управления: отсутствие сложных переключений между источниками упрощает эксплуатацию и снижает вероятность ошибок персонала;
- адекватная надёжность для второй и третьей категорий потребителей: для жилых домов, социальных объектов и большинства коммерческих зданий в данном микрорайоне такая схема обеспечивает достаточную надёжность.

Данная схема хорошо подходит для районов с высокой плотностью населения и разнообразием категорий потребителей, включая жилые дома, коммерческие и социальные объекты. Важно отметить, что двухлучевая схема с односторонним питанием также обеспечивает гибкость в развитии сети - при необходимости можно добавить дополнительные линии или блоки питания.

Для системы электроснабжения микрорайона предложено использовать двухлучевую схему с односторонним питанием. Данная схема позволяет обеспечить необходимый уровень надёжности для потребителей второй и третьей категории, снижает капитальные затраты и упрощает эксплуатацию системы. Вместе с надёжной схемой подстанции 110/10 кВ это решение удовлетворяет требованиям экономичности и эффективности, обеспечивая стабильное электроснабжение микрорайона.

Пример выполнения такой схемы приведен на рисунке 2.

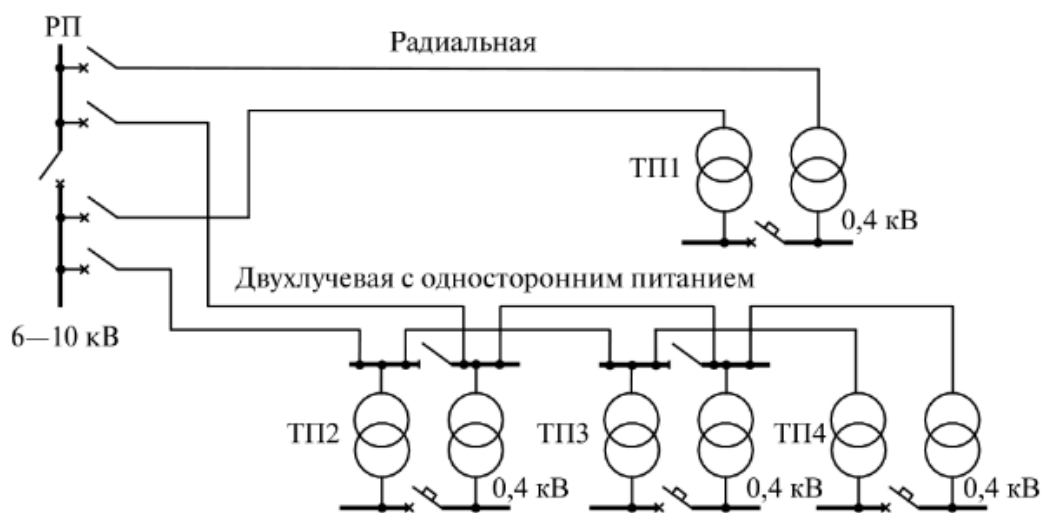


Рисунок 2 - Двухлучевая схема электроснабжения

Таким образом, разработка схемы электроснабжения с использованием предложенных решений позволит обеспечить надёжное и эффективное электроснабжение района с учётом его перспективного развития и возможных нагрузок в будущем.

Выводы по разделу 1.

Проведённый анализ потребителей электрической энергии показал, что основными потребителями в микрорайоне являются жилые дома, дополняемые объектами социальной и коммерческой инфраструктуры, такими как магазины, школы, поликлиники и кафе. Потребители были разделены на три категории по надёжности электроснабжения, что позволяет учитывать их специфику при проектировании сети и выборе оборудования. Учитывая разнообразие потребителей и требования к надёжности, особенно важным является обеспечение стабильного электропитания для объектов первой и второй категории.

При разработке схемы электроснабжения района было предложено использовать схему подстанции 110/10 кВ с двумя блоками с выключателями и неавтоматической перемычкой, что даёт высокую надёжность при сравнительно невысоких затратах. Для сети 10 кВ внутри микрорайона рекомендована двухлучевая схема с односторонним питанием.

2 Расчет электрических нагрузок района города

2.1 Расчет электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок является важным этапом проектирования системы электроснабжения района, так как позволяет определить потребляемую мощность, необходимую для надёжного и безопасного электроснабжения всех категорий потребителей. В данном разделе выполняется расчёт электрических нагрузок для жилых и общественных зданий, а также других объектов инфраструктуры, планируемых к строительству в микрорайоне.

Основными потребителями микрорайона являются жилые дома пяти- и девятиэтажноАй застройки, которые имеют различные уровни электропотребления в зависимости от площади и количества жильцов.

«Расчёт электрических нагрузок для жилых домов производится по формуле:

$$P_{\text{КВ}} = P_{\text{КВ.уд}} \cdot n, \quad (1)$$

где n - количество квартир;

$P_{\text{КВ.уд}}$ - удельная мощность на одну квартиру, Вт» [1].

При расчёте электрических нагрузок для жилых зданий необходимо учитывать мощность лифтовых установок, особенно для многоквартирных домов с высотой выше 5 этажей, где их использование является обязательным. Лифтовые установки относятся к значительным нагрузкам и, как правило, подключаются к электросети с высокой надёжностью, поскольку их работа важна для обеспечения комфортного и безопасного проживания

«Мощность лифтовых установок рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{Л.у}} = k_{\text{С}} \cdot \sum_1^n P_{\text{Л.у}}, \quad (2)$$

где k'_c - коэффициент спроса [1];

n – количество лифтовых установок;

$P_{л.у}$ - установленная мощность электродвигателя лифта, кВт» [3].

При расчёте электрических нагрузок для жилых зданий и других объектов микрорайона необходимо учитывать мощность насосов, вентиляторов и санитарно-технических устройств. Эти установки являются важными компонентами инженерных систем, обеспечивающих комфортные условия проживания и эксплуатации зданий. Игнорирование их мощности может привести к занижению общей расчётной нагрузки, что скажется на надёжности и устойчивости работы системы электроснабжения.

«Активная мощность санитарно-технических устройств определяется по формуле:

$$P_{ст.у} = k''_c \cdot \sum_1^n P_{ст.у}, \quad (3)$$

где k''_c - коэффициент спроса [1];

n - количество санитарно-технических установок;

$P_{ст.у}$ – установленная мощность двигателя, кВт» [5].

Общая расчётная нагрузка по дому определяется суммированием нагрузок всех видов потребителей:

$$P_c = P_{л.у} + P_{ст.у}, \quad (4)$$

Расчет нагрузки 9-этажного жилого дома на 160 квартир по формуле (1):

$$P_{кв} = 0,79 \cdot 160 = 126,4 \text{ кВт.}$$

Согласно формуле (2) мощность лифтовых установок для на 160 квартир равна:

$$P_{\text{л.у}} = 0,6 \cdot 5 \cdot 4 = 12 \text{ кВт.}$$

Допускается принять одно санитарно-техническое устройство на 10 квартир с двигателем мощностью 1 кВт. В таком случае, чтобы определить общее количество устройств для здания, необходимо разделить количество квартир на 10 и округлить результат в большую сторону, чтобы учесть потребности всех жильцов.

Тогда по формуле (3) мощность санитарных систем для дома на 160 квартир равна:

$$P_{\text{ст.у}} = 0,65 \cdot 16 \cdot 1 = 10,4 \text{ кВт.}$$

Для остальных жилых зданий расчеты выполнены аналогичным образом, результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов активных нагрузок жилых зданий, а также лифтовых установок и санитарно-технических систем

Наименование объекта	Номер на плане	$n_{\text{кв.}}$, шт	$P_{\text{кв.уд.}}$, кВт/кв	$n_{\text{лифт}}$, шт	$K_{\text{сл}}$	$n_{\text{с-т.у.}}$, шт	$K_{\text{ст}}$	$P_{\text{р.кв.}}$, кВт	$P_{\text{л.у.}}$, кВт	$P_{\text{ст.у.}}$, кВт
9-ти эт. жилой дом	1	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	2	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
5-ти эт. жилой дом	4	200	0,77	-	-	20	0,6	154	-	12
9-ти эт. жилой дом	5	288	0,75	8	0,45	29	0,65	216	14,4	18,85
9-ти эт. жилой дом	6	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
5-ти эт. жилой дом	7	100	0,85	-	-	10	0,7	85	-	7
5-ти эт. жилой дом	8	100	0,85	-	-	10	0,7	85	-	7
9-ти эт. жилой дом	9	324	0,74	9	0,42	33	0,4	239,76	15,12	13,2
5-ти эт. жилой дом	10	120	0,83	-	-	12	0,7	99,6	-	8,4

Продолжение таблицы 1

Наименование объекта	Номер на плане	$n_{\text{кв.}}$, шт	$P_{\text{кв.уд.}}$, кВт/кв	$n_{\text{лифт}}$, шт	$K_{\text{сл}}$	$n_{\text{с-т.у.}}$, шт	$K_{\text{ст}}$	$P_{\text{р.кв.}}$, кВт	$P_{\text{л.у.}}$, кВт	$P_{\text{ст.у.}}$, кВт
5-ти эт. жилой дом	11	140	0,81	-	-	14	0,7	113,4	-	9,8
9-ти эт. жилой дом	13	288	0,75	8	0,45	29	0,5	216	14,4	14,5
9-ти эт. жилой дом	14	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
5-ти эт. жилой дом	15	140	0,81	-	-	14	0,65	113,4	-	9,1
5-ти эт. жилой дом	17	140	0,81	-	-	14	0,65	113,4	-	9,1
9-ти эт. жилой дом	18	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	19	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
9-ти эт. жилой дом	20	108	0,86	3	0,75	11	0,7	92,88	9	7,7
9-ти эт. жилой дом	21	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	22	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
5-ти эт. жилой дом	23	120	0,83	-	-	12	0,7	99,6	-	8,4
5-ти эт. жилой дом	24	140	0,81	-	-	14	0,7	113,4	-	9,8
9-ти эт. жилой дом	25	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	26	288	0,75	8	0,45	29	0,5	216	14,4	14,5
5-ти эт. жилой дом	27	140	0,81	-	-	14	0,65	113,4	-	9,1
5-ти эт. жилой дом	28	140	0,81	-	-	14	0,65	113,4	-	9,1
9-ти эт. жилой дом	29	288	0,75	8	0,45	29	0,5	216	14,4	14,5
9-ти эт. жилой дом	30	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
9-ти эт. жилой дом	31	108	0,86	3	0,75	11	0,7	92,88	9	7,7
9-ти эт. жилой дом	33	288	0,75	8	0,45	29	0,5	216	14,4	14,5
9-ти эт. жилой дом	34	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
9-ти эт. жилой дом	35	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	36	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11

Продолжение таблицы 1

Наименование объекта	Номер на плане	$n_{\text{кв.}}$, шт	$P_{\text{кв.уд.}}$, кВт/кв	$n_{\text{лифт}}$, шт	$K_{\text{сл}}$	$n_{\text{с-т.у.}}$, шт	$K_{\text{ст}}$	$P_{\text{р.кв.}}$, кВт	$P_{\text{л.у.}}$, кВт	$P_{\text{ст.у.}}$, кВт
9-ти эт. жилой дом	37	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	38	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
5-ти эт. жилой дом	39	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
5-ти эт. жилой дом	40	100	0,85	-	-	10	0,7	85	-	7
5-ти эт. жилой дом	41	100	0,85	-	-	10	0,4	85	-	4
9-ти эт. жилой дом	43	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	44	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
5-ти эт. жилой дом	46	120	0,83	-	-	12	0,7	99,6	-	8,4
5-ти эт. жилой дом	47	140	0,81	-	-	14	0,7	113,4	-	9,8
9-ти эт. жилой дом	48	160	0,79	5	0,6	16	0,7	126,4	12	11,2
9-ти эт. жилой дом	49	288	0,75	8	0,45	29	0,5	216	14,4	14,5
5-ти эт. жилой дом	50	140	0,81	-	-	14	0,7	113,4	-	9,8
5-ти эт. жилой дом	51	140	0,81	-	-	14	0,7	113,4	-	9,8
9-ти эт. жилой дом	52	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	53	216	0,77	8	0,45	22	0,5	166,32	14,4	11
9-ти эт. жилой дом	54	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	55	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
5-ти эт. жилой дом	56	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
5-ти эт. жилой дом	57	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
5-ти эт. жилой дом	58	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
5-ти эт. жилой дом	59	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
5-ти эт. жилой дом	60	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
9-ти эт. жилой дом	61	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4

Продолжение таблицы 1

Наименование объекта	Номер на плане	$n_{\text{кв.}}$, шт	$P_{\text{кв.уд.}}$, кВт/кв	$n_{\text{лифт.}}$, шт	$K_{\text{сл}}$	$n_{\text{с-т.у.}}$, шт	$K_{\text{ст}}$	$P_{\text{р.кв.}}$, кВт	$P_{\text{л.у.}}$, кВт	$P_{\text{ст.у.}}$, кВт
9-ти эт. жилой дом	62	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	63	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	65	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	66	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	67	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
5-ти эт. жилой дом	68	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
5-ти эт. жилой дом	69	200	0,77	-	-	20	0,5	154	-	10
9-ти эт. жилой дом	70	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	71	288	0,75	8	0,45	29	0,5	216	14,4	14,5
9-ти эт. жилой дом	72	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	73	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05
9-ти эт. жилой дом	74	160	0,79	5	0,6	16	0,65	126,4	12	10,4
9-ти эт. жилой дом	75	288	0,75	8	0,45	29	0,45	216	14,4	13,05

В районе планируется строительство магазинов, кафе и торгового центра. Эти объекты имеют переменную нагрузку в зависимости от времени суток и зависят от работы холодильного оборудования, систем освещения и кондиционирования.

Для объектов публичного назначения значение нагрузки устанавливается в соответствии с уравнением:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уд}} \cdot n, \quad (5)$$

где n - количественный показатель (площадь, кол-во мест);

$P_{\text{кв.уд}}$ - удельная расчетная нагрузка единицы количественного показателя, Вт [6].

Суммарная нагрузка жилого дома с учетом силовых потребителей рассчитывается по следующему выражению:

$$P_{Р.ж.д.} = P_{КВ} + k_y \cdot P_C, \quad (6)$$

где $P_{КВ}$ – «расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу жилого дома, кВт;

k_y - коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников» [7].

Полная расчетная мощность:

$$S_{расч} = \frac{P_{Р.ж.д.}}{\cos\varphi}, \quad (7)$$

где $\cos\varphi$ - коэффициент мощности [8].

Результаты расчетов объектов публичного пользования представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов объектов публичного пользования

Наименование объекта	Номер на плане	n	$P_{уд},$ кВт/кв,кол- во м.	$P_{расч.},$ кВт	$\cos\varphi$	$S_{расч.},$ кВА
Поликлиника (на 500 посещений)	3	500	0,65	325	0,95	342,11
Банк	11	40	0,5	20	0,95	21,05
Дет. садик (500 мест)	12	500	0,45	225	0,98	229,59
Школа (900 мест)	16	900	0,25	225	0,95	236,84
Магазин (300 м ²)	32	300	0,16	48	0,85	56,47
Торговый центр	42	5000	0,25	1250	0,85	1470,59
Школа (700 мест)	45	700	0,45	315	0,95	331,58
Библиотека	64	100	0,2	20	0,95	21,05
Парикмахерская (10 рабочих мест)	76	10	0,25	2,5	0,85	2,94
Итого						2712,22

Суммарная нагрузка 9-ти этажного жилого дома на 160 квартир с учетом силовых потребителей по формуле (6):

$$P_{Р.ж.д.} = 126,4 + 0,9 \cdot 22,4 = 146,56 \text{ кВт.}$$

Тогда полная мощность данного жилого дома согласно формуле (7):

$$S_{расч} = \frac{146,56}{0,95} = 154,27 \text{ кВА.}$$

В таблице 3 приведены результаты расчета остальных жилых домов.

Таблица 3 – Результаты расчетов полной мощности жилых домов

Наименование объекта	Номер на плане	$P_{р.кв.},$ кВт	$P_{л.у.},$ кВт	$P_{ст.у.},$ кВт	$P_{с.},$ кВт	$P_{Р.ж.д.},$ кВт	$\cos\varphi$	$S_{расч.},$ кВА
9-ти эт. жилой дом	1	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	2	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
5-ти эт. жилой дом	4	154	-	12	12	164,8	0,95	173,47
9-ти эт. жилой дом	5	216	14,4	18,85	33,25	245,93	0,95	258,87
9-ти эт. жилой дом	6	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
5-ти эт. жилой дом	7	85	-	7	7	91,3	0,95	96,11
5-ти эт. жилой дом	8	85	-	7	7	91,3	0,95	96,11
9-ти эт. жилой дом	9	239,76	15,12	13,2	28,32	265,25	0,95	279,21
5-ти эт. жилой дом	10	99,6	-	8,4	8,4	107,16	0,95	112,8
5-ти эт. жилой дом	11	113,4	-	9,8	9,8	122,22	0,95	128,65
9-ти эт. жилой дом	13	216	14,4	14,5	28,9	242,01	0,95	254,75
9-ти эт. жилой дом	14	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
5-ти эт. жилой дом	15	113,4	-	9,1	9,1	121,59	0,95	127,99
5-ти эт. жилой дом	17	113,4	-	9,1	9,1	121,59	0,95	127,99
9-ти эт. жилой дом	18	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	19	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
9-ти эт. жилой дом	20	92,88	9	7,7	16,7	107,91	0,95	113,59
9-ти эт. жилой дом	21	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	22	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
5-ти эт. жилой дом	23	99,6	-	8,4	8,4	107,16	0,95	112,8
5-ти эт. жилой дом	24	113,4	-	9,8	9,8	122,22	0,95	128,65
9-ти эт. жилой дом	25	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27

Продолжение таблицы 3

Наименование объекта	Номер на плане	$P_{р.кв.},$ кВт	$P_{л.у.},$ кВт	$P_{ст.у.},$ кВт	$P_{с.},$ кВт	$P_{р.ж.д.},$ кВт	$\cos\varphi$	$S_{расч.},$ кВА
9-ти эт. жилой дом	26	216	14,4	14,5	28,9	242,01	0,95	254,75
5-ти эт. жилой дом	27	113,4	-	9,1	9,1	121,59	0,95	127,99
5-ти эт. жилой дом	28	113,4	-	9,1	9,1	121,59	0,95	127,99
9-ти эт. жилой дом	29	216	14,4	14,5	28,9	242,01	0,95	254,75
9-ти эт. жилой дом	30	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
9-ти эт. жилой дом	31	92,88	9	7,7	16,7	107,91	0,95	113,59
9-ти эт. жилой дом	33	216	14,4	14,5	28,9	242,01	0,95	254,75
9-ти эт. жилой дом	34	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
9-ти эт. жилой дом	35	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	36	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
9-ти эт. жилой дом	37	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	38	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
5-ти эт. жилой дом	39	154	-	10	10	163	0,95	171,58
5-ти эт. жилой дом	40	85	-	7	7	91,3	0,95	96,11
5-ти эт. жилой дом	41	85	-	4	4	88,6	0,95	93,26
9-ти эт. жилой дом	43	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	44	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
5-ти эт. жилой дом	46	99,6	-	8,4	8,4	107,16	0,95	112,8
5-ти эт. жилой дом	47	113,4	-	9,8	9,8	122,22	0,95	128,65
9-ти эт. жилой дом	48	126,4	12	11,2	23,2	147,28	0,95	155,03
9-ти эт. жилой дом	49	216	14,4	14,5	28,9	242,01	0,95	254,75
5-ти эт. жилой дом	50	113,4	-	9,8	9,8	122,22	0,95	128,65
5-ти эт. жилой дом	51	113,4	-	9,8	9,8	122,22	0,95	128,65
9-ти эт. жилой дом	52	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	53	166,32	14,4	11	25,4	189,18	0,95	199,14
9-ти эт. жилой дом	54	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	55	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
5-ти эт. жилой дом	56	154	-	10	10	163	0,95	171,58
5-ти эт. жилой дом	57	154	-	10	10	163	0,95	171,58
5-ти эт. жилой дом	58	154	-	10	10	163	0,95	171,58
5-ти эт. жилой дом	59	154	-	10	10	163	0,95	171,58
5-ти эт. жилой дом	60	154	-	10	10	163	0,95	171,58

Продолжение таблицы 3

Наименование объекта	Номер на плане	$P_{р.кв.},$ кВт	$P_{л.у.},$ кВт	$P_{ст.у.},$ кВт	$P_{с.},$ кВт	$P_{р.ж.д.},$ кВт	$\cos\varphi$	$S_{расч.},$ кВА
9-ти эт. жилой дом	61	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	62	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	63	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	65	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	66	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	67	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
5-ти эт. жилой дом	68	154	-	10	10	163	0,95	171,58
5-ти эт. жилой дом	69	154	-	10	10	163	0,95	171,58
9-ти эт. жилой дом	70	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	71	216	14,4	14,5	28,9	242,01	0,95	254,75
9-ти эт. жилой дом	72	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	73	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
9-ти эт. жилой дом	74	126,4	12	10,4	22,4	146,56	0,95	154,27
9-ти эт. жилой дом	75	216	14,4	13,05	27,45	240,71	0,95	253,38
Итого	-	-	-	-	-	-	-	12543,87

Общая расчетная нагрузка микрорайона составит:

$$S_{расч} = 2712,22 + 12543,87 = 15\,256,09 \text{ кВА.}$$

Данная нагрузка является ключевым параметром для дальнейших технических расчётов и проектных решений, направленных на создание надёжной и эффективной системы электроснабжения микрорайона.

2.2 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП 110/10 кВ

Выбор числа и мощности трансформаторов главной понижающей подстанции (ГПП) 110/10 кВ является важным этапом проектирования системы электроснабжения, поскольку трансформаторы обеспечивают преобразование высокого напряжения в распределительное напряжение 10 кВ

и питание всей сети микрорайона. Основываясь на расчётной нагрузке микрорайона, равной 15 256,09 кВА, производится подбор трансформаторов, обеспечивающих надёжное и экономичное электроснабжение.

При выборе трансформаторов необходимо учитывать:

- общую нагрузку микрорайона - трансформаторы должны обеспечивать питание всех категорий потребителей, включая жилые, социальные и коммерческие объекты;
- резервирование мощности - трансформаторы должны обеспечивать резервирование на случай аварийных ситуаций;
- перспективу роста нагрузки - с учётом возможного увеличения потребностей в электроэнергии в будущем, закладывается запас мощности на 10–20%.

Для учёта перспективного роста нагрузки к расчётной нагрузке добавляется резервная мощность:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_p \cdot K_{\text{рез}}}{\beta_T}, \quad (8)$$
$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{15\,256,09 \cdot 1,2}{1,4} = 13076,6 \text{ кВА.}$$

где $K_{\text{рез}}$ - коэффициент резерва (принимается 1,2 для увеличения нагрузки на 20%) [9];

β_T – допустимый коэффициент перегрузки [10, 18];

Для главной понижающей подстанции (ГПП) 110/10 кВ микрорайона выбирается два трансформатора марки ТДН мощностью 16 МВА каждый. Такой выбор обеспечивает покрытие полной нагрузки микрорайона с учётом перспективного роста и надёжное резервирование в аварийных ситуациях. Выбранные параметры соответствуют стандартным требованиям по надёжности, энергоэффективности и экономичности.

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ

При выборе трансформаторов необходимо учитывать [9]:

- требуемую надёжность и резервирование;
- энергоэффективность - трансформаторы должны работать с максимальным КПД в диапазоне номинальных нагрузок;
- расположение подстанций - важно равномерное распределение подстанций по территории микрорайона для минимизации потерь электроэнергии в линиях.

Распределение подстанций по микрорайону представлено в таблице 4.

Таблица 4 - Распределение подстанций по микрорайону

Тип объекта	Номер на плане	S _{расч.} , кВА
ТП-1		
9-ти эт. жилой дом	1	154,27
9-ти эт. жилой дом	2	253,38
Поликлиника (на 500 посещений)	3	342,11
5-ти эт. жилой дом	4	173,47
9-ти эт. жилой дом	5	258,87
9-ти эт. жилой дом	6	199,14
Итого ТП-1		1381,24
ТП-2		
5-ти эт. жилой дом	7	96,11
5-ти эт. жилой дом	8	96,11
9-ти эт. жилой дом	9	279,21
5-ти эт. жилой дом	10	112,8
Банк	11	21,05
Дет. садик (500 мест)	12	229,59
9-ти эт. жилой дом	13	254,75
9-ти эт. жилой дом	14	199,14
Итого ТП-2		1288,76
ТП-3		
5-ти эт. жилой дом	15	127,99
Школа (900 мест)	16	236,84
5-ти эт. жилой дом	17	127,99
9-ти эт. жилой дом	18	253,38
9-ти эт. жилой дом	19	199,14
9-ти эт. жилой дом	20	113,59
9-ти эт. жилой дом	21	253,38
Итого ТП-3		1312,31

Продолжение таблицы 4

Тип объекта	Номер на плане	S _{расч.} , кВА
ТП-4		
9-ти эт. жилой дом	22	199,14
5-ти эт. жилой дом	23	112,8
5-ти эт. жилой дом	24	128,65
9-ти эт. жилой дом	25	154,27
9-ти эт. жилой дом	26	254,75
5-ти эт. жилой дом	27	127,99
5-ти эт. жилой дом	28	127,99
9-ти эт. жилой дом	29	254,75
Итого ТП-4		1360,34
ТП-5		
9-ти эт. жилой дом	22	199,14
9-ти эт. жилой дом	23	113,59
Магазин (300 м2)	24	56,47
9-ти эт. жилой дом	25	254,75
9-ти эт. жилой дом	26	199,14
9-ти эт. жилой дом	27	253,38
9-ти эт. жилой дом	28	199,14
Итого ТП-5		29
ТП-6		
Торговый центр	42	1470,59
Итого ТП-6		1470,59
ТП-7		
9-ти эт. жилой дом	37	253,38
9-ти эт. жилой дом	38	199,14
5-ти эт. жилой дом	39	171,58
5-ти эт. жилой дом	40	96,11
5-ти эт. жилой дом	41	93,26
9-ти эт. жилой дом	43	253,38
9-ти эт. жилой дом	44	199,14
Итого ТП-7		1265,99
ТП-8		
Школа (700 мест)	45	331,58
5-ти эт. жилой дом	46	112,8
5-ти эт. жилой дом	47	128,65
9-ти эт. жилой дом	48	155,03
9-ти эт. жилой дом	49	254,75
5-ти эт. жилой дом	50	128,65
5-ти эт. жилой дом	51	128,65
Итого ТП-8		1240,11
ТП-9		
9-ти эт. жилой дом	52	253,38
9-ти эт. жилой дом	53	199,14
9-ти эт. жилой дом	54	154,27
9-ти эт. жилой дом	55	253,38
5-ти эт. жилой дом	56	171,58
5-ти эт. жилой дом	57	171,58

Продолжение таблицы 4

Тип объекта	Номер на плане	S _{расч.} , кВА
5-ти эт. жилой дом	58	171,58
Итого ТП-9		1374,91
ТП-10		
5-ти эт. жилой дом	59	171,58
5-ти эт. жилой дом	60	171,58
9-ти эт. жилой дом	61	154,27
9-ти эт. жилой дом	62	253,38
9-ти эт. жилой дом	63	154,27
Библиотека	64	21,05
9-ти эт. жилой дом	65	253,38
Итого ТП-10		1179,51
ТП-11		
9-ти эт. жилой дом	66	154,27
9-ти эт. жилой дом	67	253,38
5-ти эт. жилой дом	68	171,58
5-ти эт. жилой дом	69	171,58
9-ти эт. жилой дом	70	154,27
9-ти эт. жилой дом	71	254,75
Итого ТП-11		1159,83
ТП-12		
9-ти эт. жилой дом	72	154,27
9-ти эт. жилой дом	73	253,38
9-ти эт. жилой дом	74	154,27
9-ти эт. жилой дом	75	253,38
Парикмахерская (10 рабочих мест)	76	2,94
Итого ТП-12		818,24

Поскольку большинство потребителей микрорайона имеют 2-ю категорию надежности электроснабжения, на каждой подстанции устанавливается не менее двух трансформаторов.

Мощность трансформатора определяется по следующей форме:

$$S_{\text{Т.НОМ.расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot k_3}, \quad (9)$$

где $S_{\text{расч}}$ - суммарная полная нагрузка потребителей, получающих питание от рассматриваемой подстанции, кВА;

n - количество трансформаторов;

k_3 - коэффициент загрузки [12].

Выбор трансформатора на примере ТП-1:

$$S_{\text{Т.НОМ.расч}} = \frac{1381,24}{2 \cdot 0,7} = 986 \text{ кВА.}$$

К установке принят трансформатор марки ТМГ в количестве двух штук мощностью 1000 кВА каждый.

Коэффициент загрузки трансформатора равен:

$$k_3 = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot S_{\text{Т.НОМ.расч}}}, \quad (10)$$

$$k_3 = \frac{1381,24}{2 \cdot 1000} = 0,69.$$

Выбор трансформаторов для остальных потребителей района представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора ТП 10/0,4 кВ

Наименование ТП	$S_{\text{расч.}}, \text{ кВА}$	$n, \text{ шт}$	$S_{\text{транс.ном}}, \text{ кВА}$	$K_{\text{заг.ТП}}$
ТП-1	1381,24	2	1000	0,69
ТП-2	1288,76			0,64
ТП-3	1312,31			0,66
ТП-4	1360,34			0,68
ТП-5	1275,61			0,64
ТП-6	1470,59			0,74
ТП-7	1265,99			0,63
ТП-8	1240,11			0,62
ТП-9	1374,91			0,69
ТП-10	1179,51			0,59
ТП-11	1159,83			0,58
ТП-12	818,24			0,41

Для всех трансформаторных подстанций (ТП) микрорайона были выбраны трансформаторы марки ТМГ мощностью 1000 кВА. Это оборудование является оптимальным решением для данного проекта благодаря своим характеристикам и соответствию проектным требованиям.

Для каждой из 12 трансформаторных подстанций выбрано по два трансформатора марки ТМГ мощностью 1000 кВА. Это решение позволяет:

- обеспечить равномерное распределение нагрузки между трансформаторами в нормальном режиме работы,
- реализовать резервирование для потребителей второй категории надёжности.

Вывод по разделу 2

Общая расчётная нагрузка микрорайона составила 15 256,09 кВА. Учитывались все категории потребителей: жилые дома, коммерческие и социальные объекты. Для обеспечения надёжности была заложена перспектива роста нагрузки на 20%, что увеличило итоговую расчётную мощность до 18 307,31 кВА.

Для главной понижающей подстанции выбрано два трансформатора мощностью 16 МВА каждый.

Для электроснабжения микрорайона выбрано 12 трансформаторных подстанций. Каждая подстанция оснащается двумя трансформаторами марки ТМГ мощностью 1000 кВА.

3 Расчет сечения сети

3.1 Выбор сечения линий 0,4 кВ

Выбор сечения кабелей и проводов линий 0,4 кВ является важным этапом проектирования системы электроснабжения, так как от него зависят надёжность, потери мощности, безопасность эксплуатации и экономичность системы. В данном разделе определяется оптимальное сечение линий 0,4 кВ для передачи электроэнергии от трансформаторных подстанций (ТП) к потребителям микрорайона.

Кабель должен выдерживать максимальный расчётный ток нагрузки без перегрева. Основная формула для расчёта токовой нагрузки:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (11)$$

где $S_{\text{расч}}$ – полная расчетная мощность потребителя, кВА;

n - количество КЛ, по которым осуществляется электроснабжение объекта, шт;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение линии, кВ.

Далее линия проходит проверку в аварийном режиме:

$$I_{\text{АП}} = \frac{S_{\text{НАГР}}}{(n - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}. \quad (12)$$

Условия выбора в послеаварийном режиме [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{АП}} \quad (13)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно-допустимый ток выбранного проводника, А.

Затем линия проверяется на допустимую потерю напряжения:

$$\Delta U_H = \sqrt{3} \cdot I_{\text{расч}} \cdot \frac{l}{1000} \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos\varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin\varphi), \quad (14)$$

где l – длина линии, м;

$r_{\text{уд}}$ – «активное сопротивление проводника, Ом/км;

$x_{\text{уд}}$ – реактивное сопротивление проводника, Ом/км [11].

«Для определения относительного значения потерь напряжения в линии используется выражение:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_H}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%. \quad (15)$$

Для вводных и распределительных сетей: допустимая потеря напряжения составляет 5% от номинального напряжения. Это примерно 20 В для сети 400 В» [11].

Расчет на примере 9-этажного жилого дома № 1 на плане с использованием формул 11-14:

$$I_{\text{расч}} = \frac{154,27}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 111,33 \text{ A};$$

$$I_{\text{AP}} = \frac{154,27}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 222,67 \text{ A};$$

$$I_{\text{доп}} = 237 \text{ A} \geq I_{\text{AP}} = 222,67 \text{ A};$$

$$\Delta U_H = \sqrt{3} \cdot 111,33 \cdot \frac{57}{1000} \cdot (0,265 \cdot 0,95 + 0,061 \cdot 0,312) = 2,975 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{2,975}{400} \cdot 100\% = 0,74\%.$$

Для электроснабжения жилого дома №1 принят кабель марки ПвБбШв 4х70 с допустимым длительным током 237 А.

На рисунке 2 показан внешний вид кабеля ПвБбШв.

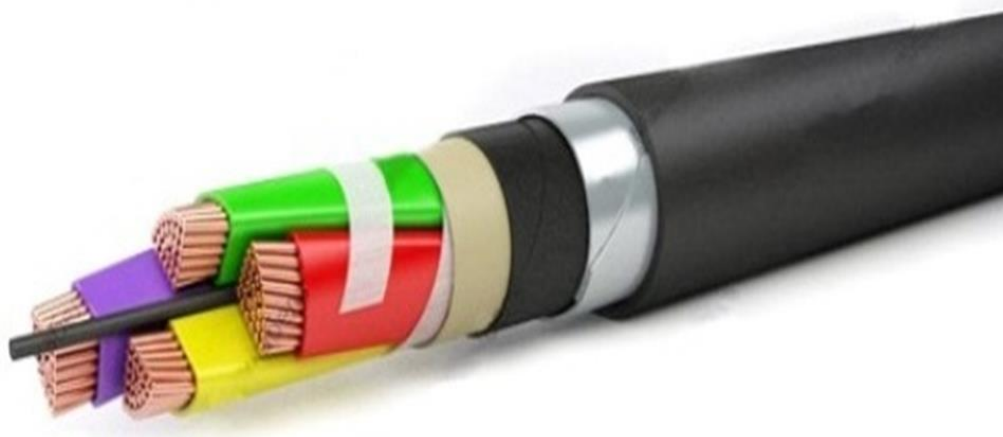


Рисунок 2 - Внешний вид кабеля ПвБбШв

Результаты расчета кабелей 0,4 кВ для остальных потребителей района представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты расчета кабелей 0,4 кВ для потребителей района

Кол-во, марка, сечение КЛ	Длина, м	Нагрузка		Назначение кабельной линии	ΔU, %
		Нормал. режим	Аварийный режим		
ТП-1					
2×ПвБбШв-4 × 70	57	111,33	222,67	1	0,74
2×ПвБбШв-4 × 185	63	182,86	365,72	2	0,35
2×ПвБбШв-4 × 185	25	246,9	493,79	3	0,44
2×ПвБбШв-4 × 95	45	125,19	250,38	4	0,25
2×ПвБбШв-4 × 185	63	186,82	373,65	5	1,2
2×ПвБбШв-4 × 120	53	143,72	287,43	6	0,11
ТП-2					
2×ПвБбШв-4 × 35	24	69,36	138,72	7	1,2
2×ПвБбШв-4 × 35	36	69,36	138,72	8	0,99
2×ПвБбШв-4 × 185	69	201,5	403	9	0,23
2×ПвБбШв-4 × 50	85	81,41	162,81	10	0,3
2×ПвБбШв-4 × 4	45	15,19	30,38	11	0,21
2×ПвБбШв-4 × 150	56	165,69	331,38	12	0,65
2×ПвБбШв-4 × 185	63	183,85	367,7	13	0,78
2×ПвБбШв-4 × 120	25	143,72	287,43	14	0,99

Продолжение таблицы 6

Кол-во, марка, сечение КЛ	Длина, м	Нагрузка		Назначение кабельной линии	ΔU, %
		Нормал. режим	Аварийный режим		
ТП-3					
2×ПвБ6Шв-4 × 50	78	92,37	184,74	15	0,22
2×ПвБ6Шв-4 × 150	69	170,92	341,85	16	0,78
2×ПвБ6Шв-4 × 50	58	92,37	184,74	17	0,44
2×ПвБ6Шв-4 × 185	45	182,86	365,72	18	0,55
2×ПвБ6Шв-4 х 120	63	143,72	287,43	19	0,66
2×ПвБ6Шв-4 × 50	54	81,98	163,95	20	0,22
2×ПвБ6Шв-4 × 185	59	182,86	365,72	21	0,99
ТП-4					
2×ПвБ6Шв-4 × 120	98	143,72	287,43	22	1,03
2×ПвБ6Шв-4 × 50	65	81,41	162,81	23	1,05
2×ПвБ6Шв-4 × 50	54	92,85	185,69	24	0,3
2×ПвБ6Шв-4 × 70	63	111,33	222,67	25	0,44
2×ПвБ6Шв-4 × 185	87	183,85	367,7	26	0,7
2×ПвБ6Шв-4 × 50	98	92,37	184,74	27	0,8
2×ПвБ6Шв-4 × 50	21	92,37	184,74	28	0,9
2×ПвБ6Шв-4 × 185	54	183,85	367,7	29	0,2
ТП-5					
2×ПвБ6Шв-4 × 120	85	143,72	287,43	30	0,14
2×ПвБ6Шв-4 × 50	65	81,98	163,95	31	0,36
2×ПвБ6Шв-4 × 16	63	40,75	81,51	32	0,63
2×ПвБ6Шв-4 × 185	24	183,85	367,7	33	0,25
2×ПвБ6Шв-4 × 120	54	143,72	287,43	34	0,44
2×ПвБ6Шв-4 × 185	23	182,86	365,72	35	0,45
2×ПвБ6Шв-4 × 120	47	143,72	287,43	36	0,65
ТП-7					
2×ПвБ6Шв-4 × 185	54	182,86	365,72	37	1,2
2×ПвБ6Шв-4 × 120	21	143,72	287,43	38	0,2
2×ПвБ6Шв-4 × 95	36	123,83	247,65	39	0,98
2×ПвБ6Шв-4 × 35	32	69,36	138,72	40	0,89
2×ПвБ6Шв-4 × 35	54	67,3	134,61	41	0,75
2×ПвБ6Шв-4 × 150	25	182,86	365,72	43	0,26
2×ПвБ6Шв-4 × 120	23	143,72	287,43	44	0,47
ТП-8					
2×ПвБ6Шв-4 × 240	54	239,3	478,59	45	0,35
2×ПвБ6Шв-4 × 50	58	81,41	162,81	46	1,2
2×ПвБ6Шв-4 × 50	56	92,85	185,69	47	0,55
2×ПвБ6Шв-4 × 70	63	111,88	223,77	48	0,98
2×ПвБ6Шв-4 × 185	32	183,85	367,7	49	0,1

Продолжение таблицы 6

Кол-во, марка, сечение КЛ	Длина, м	Нагрузка		Назначение кабельной линии	ΔU, %
		Нормал. режим	Аварийный режим		
ТП-9					
2×ПвБбШв-4 × 185	87	182,86	365,72	52	0,98
2×ПвБбШв-4 × 120	69	143,72	287,43	53	0,21
2×ПвБбШв-4 × 70	54	111,33	222,67	54	0,32
2×ПвБбШв-4 × 185	58	182,86	365,72	55	0,48
2×ПвБбШв-4 × 95	65	123,83	247,65	56	0,78
2×ПвБбШв-4 × 95	47	123,83	247,65	57	0,98
2×ПвБбШв-4 × 95	44	123,83	247,65	58	0,89
ТП-10					
2×ПвБбШв-4 × 95	56	123,83	247,65	59	1,08
2×ПвБбШв-4 × 95	34	123,83	247,65	60	0,14
2×ПвБбШв-4 × 70	45	111,33	222,67	61	0,36
2×ПвБбШв-4 × 185	69	182,86	365,72	62	0,63
2×ПвБбШв-4 × 70	96	111,33	222,67	63	0,25
2×ПвБбШв-4 × 4	35	15,19	30,38	64	0,32
2×ПвБбШв-4 × 185	53	182,86	365,72	65	0,48
ТП-11					
2×ПвБбШв-4 × 70	55	111,33	222,67	66	0,35
2×ПвБбШв-4 × 185	87	182,86	365,72	67	1,2
2×ПвБбШв-4 × 95	78	123,83	247,65	68	0,55
2×ПвБбШв-4 × 95	96	123,83	247,65	69	0,98
2×ПвБбШв-4 × 70	69	111,33	222,67	70	0,1
2×ПвБбШв-4 × 185	45	183,85	367,7	71	0,14
ТП-12					
2×ПвБбШв-4 × 70	98	111,33	222,67	72	0,15
2×ПвБбШв-4 × 185	96	182,86	365,72	73	0,63
2×ПвБбШв-4 × 70	32	111,33	222,67	74	0,28
2×ПвБбШв-4 × 185	23	182,86	365,72	75	0,79
2×ПвБбШв-4 × 4	21	2,12	4,24	76	0,87

Из расчётов, представленных в таблице выше, видно, что кабель марки ПвБбШв [2] полностью удовлетворяет:

- допустимо-длительным нагрузкам: все линии выдерживают расчётный ток без превышения допустимой температуры жилы;

- потерям напряжения: падение напряжения в выбранных линиях не превышает установленного нормами предела в 5% от номинального напряжения (0,4 кВ).

3.2 Выбор сечения линий 10 кВ

Линии 10 кВ служат для передачи электроэнергии от подстанции 110/10 кВ к трансформаторным подстанциям (ТП) 10/0,4 кВ.

Основное отличие от линий 0,4 кВ заключается в том, что кабельные линии 10 кВ выбираются в соответствии с экономической плотностью тока.

Расчетный ток на участке ГПП – ТП-1 равен (11):

$$I_{\text{расч}} = \frac{15256,09}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 440,41 \text{ А.}$$

Экономическая плотность тока определяется по расчетному току (ток послеаварийного режима работы не учитывается):

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (16)$$
$$S_{\text{эк}} = \frac{440,41}{2,0} = 220,2 \text{ мм}^2,$$

где $j_{\text{эк}}$ - значение экономической плотности тока [14].

На участке ГПП - ТП-1 принят кабель марки 2хПвБП 3х240 с длительно допустимым током нагрузки 445 А.

Внешний вид кабеля ПвБП представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Внешний вид кабеля ПвБП

Расчеты для остальных линий 10 кВ выполняются аналогично, результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты расчетов линии 10 кВ

Назначение кабельной линии	Длина, м	Срасч., кВА	Ток, А		Сэк, мм ²	Кол-во, марка, сечение КЛ	ΔU , %
			Нормал. режим	Аварийный режим			
ТП1 - ТП2	35	6707,61	193,63	387,26	96,82	2×ПвБП-3 × 95	1,2
ТП2 - ТП3	25	5418,85	156,43	312,86	78,22	2×ПвБП-3 × 70	0,8
ТП3 - ТП4	33	4106,54	118,55	237,09	59,28	2×ПвБП-3 × 50	0,63
ТП4 - ТП5	56	2746,2	79,28	158,55	39,64	2×ПвБП-3 × 35	0,44
ТП5 - ТП6	65	1470,59	42,45	84,9	21,23	2×ПвБП-3 × 25	0,39
ТП7 - ТП8	48	5772,6	166,64	333,28	83,32	2×ПвБП-3 × 95	1,3
ТП8 - ТП9	47	4532,49	130,84	261,68	65,42	2×ПвБП-3 × 70	0,98
ТП9 - ТП10	36	3157,58	91,15	182,3	45,58	2×ПвБП-3 × 50	0,85
ТП10 - ТП11	46	1978,07	57,1	114,2	28,55	2×ПвБП-3 × 35	0,76
ТП11 - ТП12	38	818,24	23,62	47,24	11,81	2×ПвБП-3 × 16	0,6

Для линий 10 кВ микрорайона были рассчитаны и выбраны сечения кабелей от 16 до 95 мм², в зависимости от длины линий и мощности нагрузки.

3.3 Расчет токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания (ТКЗ) является важным этапом проектирования системы электроснабжения, так как токи КЗ определяют выбор оборудования, кабелей и защитных устройств, а также их устойчивость к термическим и динамическим воздействиям» [13].

Задачи расчёта токов короткого замыкания:

- определить токи КЗ на шинах главной понижающей подстанции (ГПП) 110/10 кВ;
- рассчитать ТКЗ на стороне 10 кВ и 0,4 кВ трансформаторных подстанций (ТП);
- выбрать защитные устройства (выключатели, предохранители) с учётом токов КЗ.

На рисунке 4 показана схема расчета тока короткого замыкания и схема замещения.

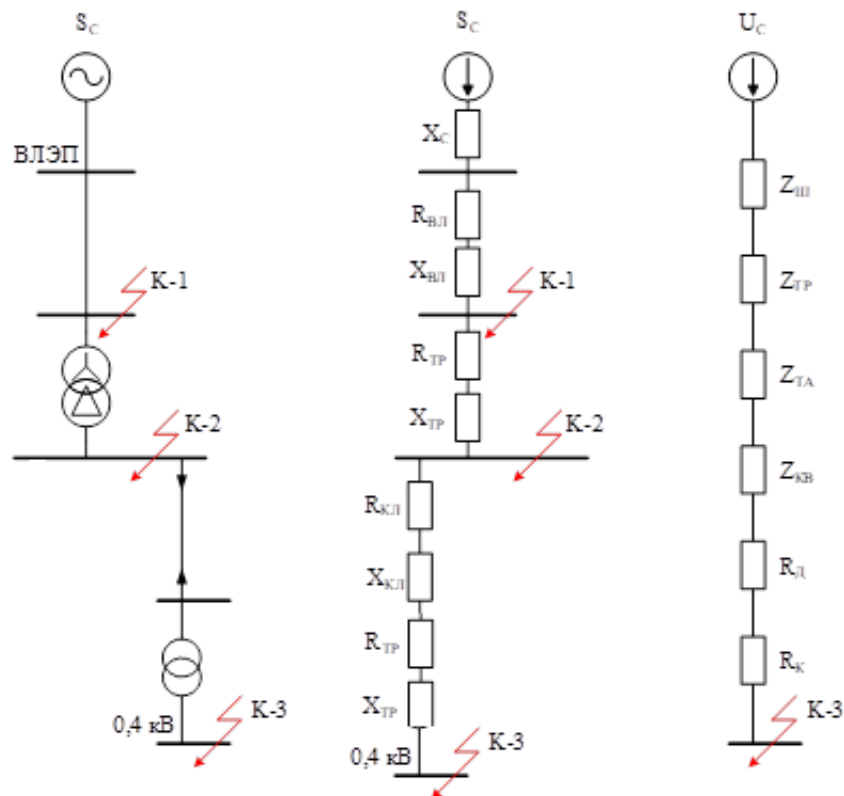


Рисунок 4 - Схема расчета тока короткого замыкания и схема замещения

Расчет токов короткого замыкания на стороне 110 кВ.

За базисные условия принимаются следующие величины: $S_B = 1000 \text{ МВА}$; $U_B = 115 \text{ кВ}$; $E_C = 1$.

Базисный ток равен [4]:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (17)$$

$$I_B = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5 \text{ кА.}$$

где S_B – базисная мощность, МВА;

U_B – базисное напряжение, кВ.

Расчет токов короткого замыкания в точке К-1.

Сопротивление системы X_c принимается равным нулю [1].

Сопротивление воздушной линии от подстанции системы до ГПП микрорайона [13]:

$$x_L = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad (18)$$

$$x_L = 0,4 \cdot 18 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,544 \text{ о. е.}$$

где x_0 – индуктивное удельное сопротивление линии, Ом/км;

l – длина линии, км.

Эквивалентное сопротивление цепи:

$$z_{\Sigma K1} = x_c + x_L, \quad (19)$$

$$z_{\Sigma K1} = 0 + 0,544 = 0,544 \text{ о. е.}$$

где x_c – индуктивное сопротивление системы, о.е. [4].

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в точке К-1:

$$I_{\text{ПО}(K1)} = \frac{E_c''}{z_{\Sigma K1}} \cdot I_B, \quad (20)$$

$$I_{\text{ПО}(K1)} = \frac{1}{0,544} \cdot 5 = 9,19 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания [4]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{ПО}(K1)}, \quad (21)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 9,16 = 18,2 \text{ кА.}$$

где $k_{\text{уд}}$ - ударный коэффициент» [4].

Расчет токов короткого замыкания на стороне 10 кВ.

За базисные условия принимаются следующие величины: $S_B = 1000 \text{ МВА}$; $U_B = 10,5 \text{ кВ}$; $E_C = 1$.

Базисный ток по выражению (17):

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

Расчет токов короткого замыкания в точке К-2.

Активное сопротивление трансформатора ГПП:

$$r_{\text{Т.Р}} = \frac{\Delta P_{\text{КЗ}} \cdot S_B \cdot 10^3}{S_H^2}, \quad (22)$$

$$r_{\text{Т.Р}} = \frac{85 \cdot 1000 \cdot 10^3}{16000^2} = 0,33 \text{ о. е.}$$

где $\Delta P_{\text{КЗ}}$ – мощность потерь КЗ в трансформаторе, кВт;

S_H - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Реактивное сопротивление трансформатора ГПП:

$$x_{\text{Т.Р}} = \frac{u_{\text{КЗ}\%} \cdot S_B \cdot 10^3}{100 \cdot S_H}, \quad (23)$$

$$x_{T.P} = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 10^3}{100 \cdot 16000} = 6,25 \text{ о. е.}$$

где $u_{K3\%}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Результирующее сопротивление схемы замещения точки К2:

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{(x_{\Sigma K1} + x_{T.P})^2 + (r_{\Sigma K1} + r_{T.P})^2}, \quad (24)$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{(0,54 + 6,25)^2 + (0,28 + 0,33)^2} = 6,82 \text{ о. е.}$$

где $x_{T.P}$ - активное сопротивление трансформатора, о.е;

$r_{T.P}$ - реактивное сопротивление трансформатора, о.е.

Начальное значение периодической составляющей короткого замыкания в точке К2 по формуле (20):

$$I_{\text{ПО}(K2)} = \frac{1}{6,82} \cdot 55 = 8,06 \text{ кА.}$$

Ударный ток по формуле (21):

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,35 \cdot 8,06 = 15,39 \text{ кА.}$$

Расчет токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ

Система принимается системой бесконечной мощности, сопротивление системы равно нулю [1].

Активное сопротивление силового трансформатора [15]:

$$r_{\text{ТР}} = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (25)$$

$$r_{\text{ТР}} = \frac{13,25 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 2,12 \text{ мОм.}$$

Реактивное сопротивление силового трансформатора:

$$x_{TP} = \sqrt{\left(\frac{U_{K\%} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}\right)^2 - r_{TP}^2}, \quad (26)$$

$$x_{TP} = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{100 \cdot 1000}\right)^2 - 2,12^2} = 9,36 \text{ мОм}.$$

Результирующее сопротивление схемы замещения [21]:

$$z_{\Sigma(K3)} = \sqrt{(x_{TP})^2 + (r_{TP} + r_D)^2}, \quad (27)$$

$$z_{\Sigma(K3)} = \sqrt{(9,36)^2 + (2,12 + 5)^2} = 11,76 \text{ мОм}.$$

где r_D – сопротивление дуги [19], мОм.

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в точке КЗ:

$$I_{ПО(K3)} = \frac{U_C}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K3}}, \quad (28)$$

$$I_{ПО(K3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 11,76 \cdot 10^{-3}} = 19,64 \text{ кА}.$$

Ударный ток по формуле (21):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 19,34 = 30,1 \text{ кА}.$$

Все результаты расчетов тока короткого замыкания сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Токи короткого замыкания

Точка КЗ	Описание	$U_{\text{ном}}$ [кВ]	$I_{\text{по}}$ [кА]	$i_{\text{уд}}$ [кА]
К1	Линейные выводы ВН трансформатора ГПП	110	9,19	18,2
К2	Секция шин НН ГПП	10	8,06	15,39
К3	Шины НН ЦТП с трансформаторами мощностью 1000 кВА	0,4	19,64	30,1

Вывод по разделу 3

Для линий 0,4 кВ в микрорайоне был выбран кабель марки ПвБбШв сечением от 4 до 185 мм², в зависимости от нагрузки и длины линии. Проведённые расчёты показали, что выбранные сечения соответствуют допустимо-длительным токовым нагрузкам и обеспечивают падение напряжения в пределах нормы (до 5%). Выбранный кабель также удовлетворяет требованиям надёжности и долговечности.

Для линий 10 кВ выбраны кабели сечением от 16 до 95 мм², в зависимости от расчётной нагрузки и длины линии. Материал кабелей (медь) определен с учётом экономической целесообразности и эксплуатационных условий. Выбранные сечения обеспечивают соответствие линий допустимым токовым нагрузкам, падению напряжения и термической устойчивости.

Расчёты показали, что ток трёхфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ составляет около 8,06 кА, а на стороне 0,4 кВ – 19,64 кА. Эти значения используются для выбора кабелей, трансформаторов, защитных устройств и коммутационного оборудования, чтобы обеспечить их устойчивость к термическим и динамическим воздействиям. Все элементы системы электроснабжения соответствуют рассчитанным параметрам.

4 Выбор электрических аппаратов

В данном разделе рассматривается выбор электрических аппаратов для открытых распределительных устройств (ОРУ) 110 кВ и закрытых распределительных устройств (ЗРУ) 10 кВ на подстанции 110/10 кВ, а также для трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ микрорайона. При выборе аппаратов учитываются следующие критерии:

- расчётные параметры сети: номинальные токи, напряжения и токи короткого замыкания;
- категория надёжности потребителей: для первой и второй категорий требуются аппараты с высокой надёжностью и устойчивостью к аварийным режимам;
- условия эксплуатации: температурный диапазон, механические нагрузки и уровень загрязнения окружающей среды;
- экономичность и долговечность: аппараты выбираются с учётом минимизации капитальных и эксплуатационных затрат при сохранении высокого уровня надёжности.

Цель раздела - определить оптимальные типы и параметры электрических аппаратов для обеспечения надёжной и безопасной работы системы электроснабжения микрорайона.

4.1 Выбор коммутационных и измерительных аппаратов ОРУ 110 кВ

Открытые распределительные устройства (ОРУ) 110 кВ на главной понижающей подстанции (ГПП) 110/10 кВ предназначены для подключения линий электропередач 110 кВ и трансформаторов, а также для обеспечения их защиты, управления и контроля. Коммутационные и измерительные аппараты, используемые в ОРУ, должны соответствовать номинальным параметрам

системы и обеспечивать надёжную работу при нормальных и аварийных режимах.

Выключатели 110 кВ

Выключатели предназначены для включения, отключения и защиты линии в нормальных и аварийных режимах [22, 23].

Обоснование выбора:

- способны отключать большие токи короткого замыкания (до 50 кА);
- высокая надёжность и низкие эксплуатационные затраты;
- компактность;
- устойчивость к многократным коммутационным операциям.

При выполнении выбора оборудования необходимо придерживаться перечисленных ниже условий:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}; \quad (29)$$

$$I_{\text{раб.макс.}} \leq I_{\text{н}}. \quad (30)$$

«Проверка коммутационных аппаратов на симметричные токи отключения:

$$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}. \quad (31)$$

В этом случае рассматривается симметричный (трехфазный) ток замыкания.

Для устройств отключения в рамках этой работы должны быть проведены испытания на отключение апериодической составляющей тока короткого замыкания» [14]:

$$i_{\text{а.т}} \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{ном}} \cdot I_{\text{отк.ном}}, \quad (32)$$

где $\beta_{\text{ном}}$ - «номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [24];

$i_{a.ном}$ - «номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [24].

Испытание электрического оборудования на электродинамическую стойкость [14]:

- «по условию номинального тока отключения» [24]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (33)$$

- «по величине ударного тока» [25]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (34)$$

где $i_{дин.}$ - «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата» [25].

Выполнение тестирования электрических устройств на термостойкость [25]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (35)$$

где I_T - «предельный ток термической стойкости по каталогу» [26];

t_T - «длительность протекания тока термической стойкости, с» [18].

Разъединители 110 кВ

Разъединители предназначены для обеспечения видимого разрыва цепи при проведении ремонтных работ.

Обоснование выбора:

- простота конструкции и надёжность;
- способность работать в условиях внешнего загрязнения и низких температур.

Условия выбора разъединителей практически такие же, как и при выборе силовых выключателей.

Трансформаторы тока (ТТ)

«Трансформаторы тока предназначены для измерения токов и передачи сигналов на измерительные и защитные устройства.

Трансформаторы напряжения (ТН)

Трансформаторы напряжения используются для измерения напряжений и передачи сигналов на защитные устройства и автоматику» [15].

Результаты выбора оборудования ОРУ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор оборудования ОРУ

Тип оборудования	Условие выбора	Расчётные величины	Каталожные данные	Проверка условия
РУ ВН				
Выключатель ВГТ-110 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $I_{\text{отк.в}} \geq I_{\text{по}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$ $I_{\text{тт}} \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}} = 80,07 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 9,19 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}} = 18,2 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 8,82 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$ $I_{\text{отк.в}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$ $I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$ $2000 \text{ А} > 80,07 \text{ А}$ $40 \text{ кА} > 9,19 \text{ кА}$ $102 \text{ кА} > 18,2 \text{ кА}$ $4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 8,82 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока ТФЗМ-110 100/5	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$ $(k \cdot I_{\text{ном}})^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$ $Z_{2 \text{ ном}} \geq Z_2$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}} = 80,07 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 18,2 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 8,82 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_2 = 0,495 \text{ Ом}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$ $i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$ $(k \cdot I_{\text{ном}})^2 \cdot t_{\text{т}} = 3675 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_{2 \text{ ном}} = 0,8 \text{ Ом}$	$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$ $100 \text{ А} > 80,07 \text{ А}$ $80 \text{ кА} > 18,2 \text{ кА}$ $3675 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 8,82 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $0,8 \text{ Ом} > 0,495 \text{ Ом}$
РГП-110/1250У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$ $I_{\text{тт}} \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}} = 80,07 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 18,2 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 8,82 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 1250 \text{ А}$ $i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$ $I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$ $1250 \text{ А} > 80,07 \text{ А}$ $31,5 \text{ кА} > 18,2 \text{ кА}$ $469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 8,82 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ограничитель перенапряжений ОПН-110-УХЛ1.	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$
Ограничитель перенапряжений в нейтрали ОПН-110-УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{сети}} = \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$	$\frac{110}{\sqrt{3}} \text{ кВ} = \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$

Следует отметить, что в качестве силового выключателя выбран элегазовый выключатель, внешний вид которого показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид элегазового выключателя

Обоснование выбора:

- способны отключать большие токи короткого замыкания (до 50 кА);
- высокая надёжность и низкие эксплуатационные затраты;
- компактность по сравнению с масляными выключателями;
- устойчивость к многократным коммутационным операциям.

4.2 Выбор коммутационных и измерительных аппаратов ЗРУ 10 кВ

Закрытые распределительные устройства (ЗРУ) 10 кВ предназначены для распределения электроэнергии от главной понижающей подстанции (ГПП) 110/10 кВ и обеспечения защиты, управления и учёта электроэнергии. Выбор коммутационных и измерительных аппаратов для ЗРУ 10 кВ

производится с учётом расчётной нагрузки, токов короткого замыкания и требований надёжности.

Условия выбора оборудования для ЗРУ те же, что и для ОРУ Результаты выбора оборудования для ЗРУ представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор оборудования ЗРУ

Тип оборудования	Условие выбора	Расчётные величины	Каталожные данные	Проверка условия
РУ НН				
Вводной выключатель и выключатель отходящей линии ВВУ-10-20/1000	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $I_{\text{отк.в}} \geq I_{\text{по}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$ $I_{\text{пт}} \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$U_{\text{сети}}=10 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}}=880,82 \text{ А}$ $I_{\text{по}}=8,06 \text{ кА}$ $i_{\text{уд}}=15,39 \text{ кА}$ $B_{\text{к}}=1,36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}}=1000 \text{ А}$ $I_{\text{отк.в}}=20 \text{ кА}$ $i_{\text{дин}}=52 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}}^2 \cdot t_{\text{т}}=20^2 \cdot 3=1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$10 \text{ кВ}=10 \text{ кВ}$ $1000 \text{ А}>880,82 \text{ А}$ $20 \text{ кА}>8,06 \text{ кА}$ $52 \text{ кА}>15,39 \text{ кА}$ $1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}>1,36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока ТЛМ-10-150/5	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$ $I_{\text{пт}} \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$ $Z_{\text{ном}} \geq Z_{\text{макс}}$	$U_{\text{сети}}=10 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс}}=880,82 \text{ А}$ $i_{\text{уд}}=15,39 \text{ кА}$ $B_{\text{к}}=1,36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_{\text{макс}}=0,185 \text{ Ом}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}}=1000 \text{ А}$ $i_{\text{дин}}=125 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}}^2 \cdot t_{\text{т}}=25^2 \cdot 4=2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $Z_{\text{ном}}=1,2 \text{ Ом}$	$10 \text{ кВ}=10 \text{ кВ}$ $1000 \text{ А}>880,82 \text{ А}$ $125 \text{ кА}>15,39 \text{ кА}$ $2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}>1,36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $1,2 \text{ Ом}>0,185 \text{ Ом}$
Трансформатор напряжения ЗНОЛ-10УЗ	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $S_{\text{ном}} \geq S_{\text{макс}}$	$U_{\text{сети}}=10 \text{ кВ}$ $S_{\text{макс}}=19,6 \text{ ВА}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$ $S_{2\text{ном}}=150 \text{ ВА}$	$10 \text{ кВ}=10 \text{ кВ}$ $150 \text{ ВА}>19,6 \text{ ВА}$
Ограничитель перенапряжений ОПН-КР/TEL-10УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{сети}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10,5 \text{ кВ}$	$10,5 \text{ кВ}>10 \text{ кВ}$

Все аппараты размещаются в закрытых ячейках ЗРУ, обеспечивающих защиту от пыли, влаги и случайных контактов.

4.3 Конструктивные решения ТП – 10 /0,4 кВ района

Для обеспечения электроснабжения микрорайона в проекте предлагается использование комплектных трансформаторных подстанций (КТП) типа «Пилот». Эти подстанции предназначены для преобразования напряжения 10 кВ в 0,4 кВ и дальнейшего распределения электроэнергии к потребителям.

КТП «Пилот» представляют собой современное решение, сочетающее компактность, надёжность и простоту эксплуатации.

Общие характеристики КТП «Пилот»:

тип подстанции: КТП наружной установки;

- назначение: преобразование напряжения 10/0,4 кВ и питание потребителей жилых, коммерческих и социальных объектов;
- конструкция: блочная, с размещением всех элементов в одном модуле.

Варианты исполнения:

- однотрансформаторные и двухтрансформаторные подстанции;
- исполнение с воздушным или кабельным вводом и выводом.

Основные элементы КТП «Пилот»:

- трансформатор мощностью 1000 кВА;
- вакуумный выключатель;
- разъединители с заземляющими ножами;
- трансформаторы тока и напряжения;
- автоматические выключатели на стороне 0,4 кВ;
- система учёта электроэнергии;
- контакторные устройства для подключения и отключения линий.

Преимущества КТП «Пилот»:

- компактность и удобство монтажа (модульная конструкция облегчает транспортировку и установку);
- высокая надёжность (современное оборудование обеспечивает надёжную работу при любых режимах нагрузки);
- простота эксплуатации (все элементы находятся внутри одного модуля, что упрощает доступ при обслуживании);
- универсальность (возможность адаптации под индивидуальные требования заказчика);

- энергоэффективность (минимальные потери в трансформаторе и распределительных устройствах).

Технические параметры КТП «Пилот» представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические параметры КТП «Пилот»

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение	10/0,4 кВ
Номинальная мощность трансформатора	1000–1600 кВА
Номинальный ток на стороне 0,4 кВ	до 2500 А
Ток короткого замыкания	до 25 кА
Класс защиты	IP54 (внешний корпус)
Климатическое исполнение	УХЛ1
Срок службы	не менее 30 лет

Использование КТП «Пилот» в системе электроснабжения микрорайона обеспечивает надёжность, безопасность и экономичность. Эти подстанции оптимальны для условий плотной городской застройки благодаря своей компактности, универсальности и простоте эксплуатации. Выбор данного решения позволяет эффективно покрывать потребности всех категорий потребителей, включая жилые дома, коммерческие объекты и социальную инфраструктуру.

Вывод по разделу 4

Выбранные коммутационные и измерительные аппараты для ОРУ 110 кВ и ЗРУ 10 кВ, а также конструктивные решения для ТП 10/0,4 кВ обеспечивают надёжность, безопасность и эффективность работы системы электроснабжения микрорайона. Все элементы адаптированы к условиям эксплуатации, соответствуют расчётным параметрам и требованиям современных стандартов.

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке системы электроснабжения микрорайона с населением 150 тысяч человек. В ходе исследования были решены основные задачи, направленные на обеспечение надёжного, безопасного и экономически эффективного электроснабжения, с учётом всех категорий потребителей: жилых, коммерческих и социальных объектов.

В рамках работы выполнены следующие этапы:

- проведён анализ потребителей электрической энергии, определены основные группы потребителей, их электрические нагрузки и категории надёжности;
- разработана схема электроснабжения района;
- выполнены расчёты электрических нагрузок, токов короткого замыкания, а также выбор сечений кабелей для сетей 10 и 0,4 кВ;
- предложены конструктивные решения для ТП 10/0,4 кВ, включающие использование комплектных трансформаторных подстанций типа «Пилот»;
- выбраны коммутационные и измерительные аппараты для ОРУ 110 кВ и ЗРУ 10 кВ;

В результате проведённой работы разработана система электроснабжения, которая:

- удовлетворяет потребности всех категорий потребителей;
- обеспечивает высокий уровень надёжности и безопасности;
- учитывает перспективы роста нагрузки и развития микрорайона.

Данная система отвечает требованиям современных стандартов энергоэффективности и проектирования, что делает её технически и экономически обоснованной. Предложенные решения могут быть использованы как основа для дальнейшей реализации проекта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. М. : Тольятти, 2016.
2. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Технические условия [Электронный ресурс]: ГОСТ 18410-73 утв. и введен в действие Приказом Госстандарта от 08.02.1973. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004968> (дата обращения: 15.03.2024).
3. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
4. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : ГОСТ 28249-93 утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 07.04.2024).
5. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368 с.
6. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие. М. : Academia, 2013. 320 с.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение: Учебник. М. : Academia, 2015. – 352 с. 52
8. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс] : Руководящий документ 34.20.185-94 утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 15.03.2024).
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
10. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М. : ЗАО «Энергосервис», 1998. – 980 с.

11. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejpo-poterjam-naprijazhenija.html> (дата обращения 07.04.2024).
12. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 07.04.2024).
13. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования// Консультант плюс: справочно-правовая система.
14. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа (с изменениями) [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения: 01.04.2024).
15. Сибкин Ю. Д., Сибикин М. Ю., Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368 с.
16. СП 256.1325800.2016. Свод правил. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа // Консультант плюс: справочно–правовая система
17. Сазонов Ю.Н. Автоматизация электроснабжения. Санкт-Петербург: Питер, 2014. 320 с.
18. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 52719-2007 утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 07.04.2024).
19. Терехов А.Н., Чудинов Н.И. Электрические сети и системы. М.: Бином-Пресс, 2016. 360 с.
20. Тимошенко В.В. Электроэнергетические системы предприятий. Санкт-Петербург:Издательский дом «Лань», 2018. 280 с.

21. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnojzashchite.html> (дата обращения: 07.04.2024).
22. Сивков А. А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174 с.
23. Суворин А. В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544 с.
24. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128 с.
25. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: учеб. пособие. Москва: Форум, Инфра-М, 2020. 216 с.
26. Шлейников В.Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия. Оренбург: ОГУ, 2012. 115 с