

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал ФГАО ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт
«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.С.Торопов
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 2023г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код – наименование направления

Перевод жилых домов частного сектора на электроотопление в X жилом районе
г. Абакана в границах улиц: Дружная – массив Заречное
тема

Руководитель _____ доцент, к.э.н. Н.В. Дулесова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Е.Д. Станьков
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ И.А. Кычакова
подпись, дата инициалы, фамилия

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАО ВО

«Сибирский федеральный университет»

институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С.Торопов

подпись

инициалы, фамилия

«__»

_____ 2023г

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Станькову Егору Дмитриевичу
(фамилия, имя, отчество студента)
Группа ХЭн 19–01 (19-1) Направление (специальность) 13.03.02
(код)
«Электроэнергетика и электротехника»
(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Перевод жилых домов частного сектора на электроотопление в X жилом районе г. Абакана в границах улиц: Дружная – массив Заречное.

Утверждена приказом по институту № 286 от 17.05.2023г.

Руководитель ВКР Н.В. Дулесова, доцент кафедры «ЭМиАТ», к.э.н.
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Генеральный план жилой застройки, параметры существующих ТП, площади абонентов и мощность присоединения

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

ВВЕДЕНИЕ

- 1 Характеристика объекта и определение параметров жилищного строительства
- 2 Обоснование перевода жилых домов на электроотопление.
- 3 Расчет схемы распределительной сети 10кВ после реконструкции
- 4 Выбор оборудования распределительной сети
- 5 Расчёт токов короткого замыкания
- 6 Анализ качества напряжения сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перечень обязательных листов графической части:

- 1 Схема подключения ТП до перевода на электроотопление
- 2 Схема подключения ТП после перевода на электроотопление
- 3 Расчет линий трансформаторных подстанций после перевода

Руководитель ВКР

(подпись)

Н.В. Дулесова
(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

Е.Д. Станьков
(инициалы и фамилия)

«15» марта 2023 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Перевод жилых домов частного сектора на электроотопление в X жилом районе г. Абакана в границах улиц: Дружная – массив Заречное» содержит 62 страницы текстового документа, 4 рисунка, 31 таблицу, 25 использованных источников, 3 листа графического материала.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, НАПРЯЖЕНИЕ, ЛИНИЯ,
ЭЛЕКТРОБОРУДОВАНИЕ, АБОНЕНТ, ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ.

Объект расчёта – X жилой район г. Абакана в границах улиц: Дружная – массив Заречное.

Предметом исследования является перевод частных домов на электроотопление.

К основным вопросам перевода рассматриваемой жилой зоны относятся: архитектурно-планировочное проектирование, выбор оборудования, расчёт нагрузок для каждого потребителя.

Целью данной выпускной квалификационной работы является перевод частных домов на электроотопление в связи с тем, что экология Республики Хакасия ухудшается с каждым годом. Для достижения данной цели в работе был проведен анализ существующей схемы электроснабжения на предмет загрузки элементов системы электроснабжения, разработан новый вариант схемы электроснабжения электрической сети, выбрано конструктивное исполнение линий и трансформаторных подстанций.

В процессе работы были рассчитаны нагрузки на вводимые в эксплуатацию жилые постройки и перераспределена схема электроснабжения. Для потенциальных потребителей были проведены расчеты электрической нагрузки и выбраны элементы системы электроснабжения. При этом принимаемые проектные решения должны соответствовать современному технологическому уровню.

ABSTRACT

The graduation thesis on the topic "Conversion of Private Sector Residential Buildings to Electric Heating in the X Residential Area of Abakan within the Boundaries of the Streets: Druzhnaya – Zarechnoye Settlement" includes a 62-page document, 4 illustrations, 31 tables, 25 references, and 3 pages of graphic material.

The research focuses on the X residential area in Abakan within the boundaries of the streets: Druzhnaya – Zarechnoye Settlement, while the study subject is the conversion of private houses to electric heating.

The major aspects of the conversion of the dacha settlement involve architectural and planning organization, equipment selection, and consideration of the specifics of household and living conditions of the population.

The aim of this graduation thesis is to convert private houses to electric heating due to the deterioration of the ecological situation in RH every year. To achieve this goal, an analysis of existing power supply schemes was conducted to assess the load on power supply system elements; a new electric power supply scheme was developed, including the design of lines and transformer substations.

During the work, the power loads for the cottages that are brought into operation were calculated, and a new electrical supply scheme was designed. The electrical load calculations were carried out, and the elements of the power supply system were chosen for these objects. The design solutions taken should correspond to modern technological standards.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Характеристика объекта и определение параметров жилищного строительства	8
1.1 Анализ современного состояния территории	8
1.2 Перспективный план развития городских электрических сетей	9
2 Обоснование перевода жилых домов на электроотопление.....	122
2.1 Анализ существующей схемы электроснабжения системы электроснабжения	122
2.2 Перевод схемы электроснабжения в связи с переходом на электроотопление	199
3 Расчет схемы распределительной сети 10кВ после реконструкции.....	477
3.1 Расчет проводов и выбор сечения проводников.....	477
3.2 Определение потерь электрической сети 10кВ.....	488
4 Выбор оборудования распределительной сети	488
4.1 Выбор оборудования на напряжение 10 кВ	488
4.2 Выбор оборудования на напряжение ниже 1 кВ.....	49
5 Расчёт токов короткого замыкания	511
5.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	511
5.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1 кВ	544
6 Анализ качества напряжения сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников	554
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Одной из серьезных экологических проблем в Республике Хакасия является загрязнение атмосферы вредными веществами. В основном это вызвано деятельностью промышленных предприятий и транспорта, а также эмиссией от бытовых и теплоэнергетических источников.

Частичным решением данной проблемы является перевод районов частных домов на электроотопление. Для выполнения перевода были решены следующие задачи:

- перевод существующей схемы электроснабжения;
- проектирование новых трансформаторных подстанций и расчет их загрузки;
- расчет схемы распределительной сети 10 кВ;
- расчет проводов и выбор сечения проводников;
- выбор оборудования в сети 0,4 и 10 кВ;
- расчет токов короткого замыкания;
- анализ качества напряжения сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников.

Практическая значимость работы заключается в том, что перевод на электроотопление значительно снизит уровень выбросов в атмосферу и улучшит экологическую ситуацию в городе.

1 Характеристика объекта и определение параметров жилищного строительства

1.1 Анализ современного состояния территории

Абакан – город в Южной Сибири, городской округ, столица субъекта РФ Республика Хакасия, численностью населения 171,2 тыс. человек. Расположен в центре южной части Минусинской впадины на слиянии рек Абакан и Енисей. Отклонение часового пояса относительно Москвы + 4 часа.

Территория Абакана находится в поясе резко континентального климата, но после пуска Красноярской и Саяно-Шушенской ГЭС погода изменилась. Среднегодовая температура воздуха $-0,2^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум температур воздуха -50°C , максимум $+38^{\circ}\text{C}$.

Холодный период затяжной и отличается низкой температурой воздуха. Весна в эти края приходит в середине апреля. А зима начинается еще во второй декаде октября. Заморозки случаются и в июне. Наиболее жаркий месяц – июль. Это самый дождливый летний месяц. Меньше всего осадков выпадает в августе. Атмосфера прогревается до 32°C , но обычно термометр держится у отметки 20°C . В этом месяце уже возможны первые осенние заморозки. В период похолодания температура ночью опускается ниже 1°C . В сентябре все еще может быть жарко. После заката воздух охлаждается до -7°C . Средняя дневная температура – 10°C . Осадков по-прежнему мало, норма – 30 миллиметров.

Проектируемый объект расположен в X жилом районе г. Абакана в границах улиц: Дружная- массив Заречное. Всего объектов, подлежащих переводу: 152 домовладения. Данные объекты относятся к потребителю III категории по надёжности электроснабжения.

Проектируемая территория расположена рядом с водной зоной: р. Ташеба, характеризующейся жарким летом, холодной зимой, резким колебанием температуры воздуха и недостаточным количеством атмосферных осадков.

Анализ современного состояния частной территории города Абакана относительно отопления показывает, что большая часть частных домов оснащена индивидуальными системами отопления.

Однако, существуют проблемы в сфере отопления на частной территории, которые необходимо решить. Некоторые жилые дома по-прежнему используют устаревшие и неэффективные способы отопления, которые приводят к высоким расходам на энергоресурсы и ухудшению экологической обстановки.

Кроме того, многие жители города Абакана сталкиваются с проблемами отсутствия канализации и, соответственно, необходимости использования автономных систем отопления, также связанных с высокими расходами на топливо.

1.2 Перспективный план развития городских электрических сетей

Для реализации перехода жилых домов частного сектора на электроотопление в городе Абакан необходимо разработать перспективный план развития городских электрических сетей, который включает в себя следующие мероприятия:

- проведение анализа потребности в электроэнергии;
- расширение электрической сети;
- разработку новых тарифов;
- обновление и усовершенствование оборудования электрических сетей;
- создание программ обучения для жителей частного сектора и продвижение электроотопления как экологически чистой технологии.

Кроме того, необходимо создать инфраструктуру подключения жилых домов к электрическим сетям и привлечь инвестиции для финансирования проекта.

Данная программа поможет росту потребления электроэнергии и способствует развитию городской электрической сети в Абакане. Переход на электроотопление также позволит сократить использование традиционных источников энергии, таких как уголь, газ и нефть, и сделает Абакан более экологически чистым городом.

Правительство Республике Хакасия уделяет большое значение вопросу экологии и перспективам развития частного сектора жителей республики.

В целях организации мероприятий, способствующих снижению общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и улучшению качества атмосферного воздуха на территории Республики Хакасия, Президиум Правительства Республики Хакасия принял Постановление о внедрении на территории РХ пилотного проекта по переводу частных домовладений с печного отопления на электрическое отопление [11].

Постановлением регламентированы следующие задачи:

1. Внедрить на территории Республики Хакасия пилотный проект по переводу частных домовладений с печного отопления на электрическое отопление.

2. Определить муниципальные образования город Абакан, Подсинский сельсовет, Белоярский сельсовет, Изыхский сельсовет Алтайского района территориями для реализации пилотного проекта.

3. Утвердить прилагаемые Параметры пилотного проекта по переводу частных домовладений с печного отопления на электрическое отопление (далее- параметры пилотного проекта).

4. Установить, что пилотный проект реализуется в рамках мероприятий муниципальных программ, проектов, предусматривающих осуществление мероприятий по охране окружающей среды в границах муниципальных образований Республики Хакасия и со финансируемых из республиканского бюджета Республики Хакасия в соответствии с Порядком предоставления и распределения субсидий из республиканского бюджета Республики Хакасия бюджетам муниципальных образований Республики Хакасия на софинансирование расходных обязательств муниципальных образований Республики Хакасия на реализацию мероприятий по охране окружающей среды, приведенным в приложении 9 к текстовой части государственной программы Республики Хакасия «Охрана окружающей среды, воспроизводство

и использование природных ресурсов в Республике Хакасия», утвержденной постановлением Правительства Республики Хакасия от 13.11.2013 N 623 [21].

5. Установить, что в рамках пилотного проекта реализуются следующие мероприятия:

1) строительство, реконструкция объектов электросетевого хозяйства, находящихся в муниципальной собственности, необходимых для перевода частных домовладений на электрическое отопление;

2) возмещение энергосбытовым организациям, присоединившимся к реализации пилотного проекта, параметры которого утверждены настоящим постановлением, на основании заключенного с администрацией соответствующего муниципального образования Республики Хакасия соглашения об участии энергосбытовой организации в реализации пилотного проекта на территории соответствующего муниципального образования Республики Хакасия части размера платежа за электроэнергию, потребляемую в частных домовладениях, переводимых на электрическое отопление, порядок уплаты которой на период реализации пилотного проекта присоединившимися к пилотному проекту потребителями электрической энергии изменен в соответствии с параметрами пилотного проекта (далее недополученные доходы).

2 Обоснование перевода жилых домов на электроотопление.

Большое количество домов, отапливаемых печным образом и обилие крупных промышленных предприятий оказывает негативное влияние на состояние окружающей среды. Количество их выбросов, которое было измерено в 2009 году, превысило показатель 43 000 тонн. Эксперты утверждают, что их объем увеличился на тридцать процентов. В воздух, которым дышат горожане, попадает ядовитый формальдегид. Концентрация других взвешенных веществ превысила допустимое значение в три раза [22].

Усугубляет экологическую обстановку в регионе его уникальное расположение. Абакан находится в своеобразном котловане, который со всех сторон закрывают высокие пики горных хребтов. Они препятствуют свободной циркуляции атмосферных потоков, поэтому над городом создается тепловая пробка. Она мешает воздухообмену. В итоге все вредные выбросы, которые производят промышленные предприятия региона, достигают максимальной концентрации.

Целью перевода индивидуальной жилой застройки 10 жилого района на электроотопление является снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории муниципального образования город Абакан.

2.1 Анализ существующей схемы электроснабжения системы электроснабжения

Проектируемый объект расположен в X жилом районе г. Абакана в границах улиц: Дружная- массив Заречное.

Всего объектов, подлежащих переводу: 152 домовладения. Данные объекты относятся к потребителю III категории по надёжности электроснабжения.

Электроснабжение 152 домовладений осуществляется от трех трансформаторных подстанций ТП-10-11, ТП-10-12, РТП-24:

Схема ТП-10-11

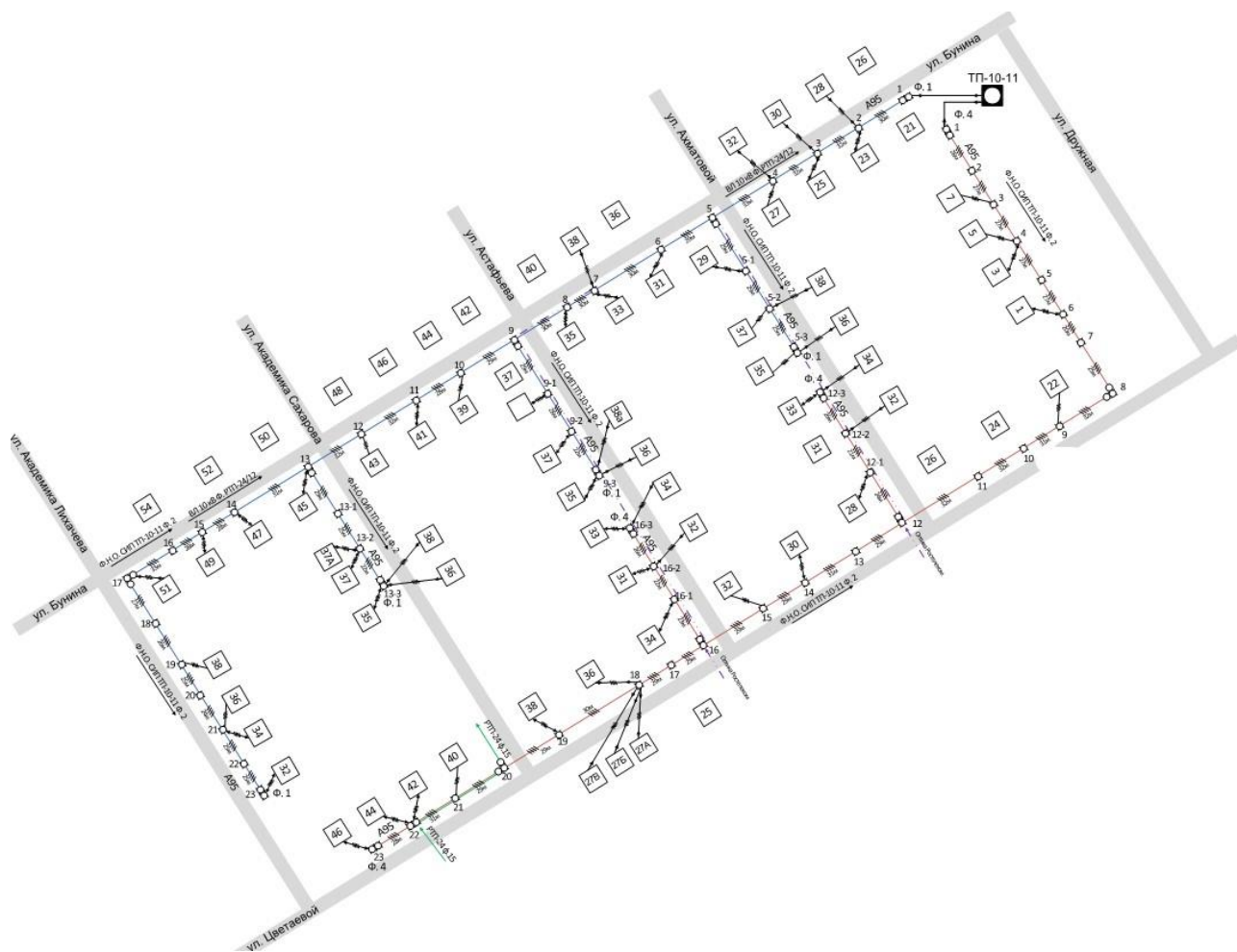


Рисунок 2 – Схема подключения ТП-10-11

Трансформаторная подстанций ТП-10-11 питает 65 земельных участков.

Характеристика трансформатора:

Таблица 1– Характеристика трансформатора

назначения номинальных линейных напряжений трансформаторов	10/0,4 кВ
Окружающая среда	не взрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли
Высота установки над уровнем моря	не более 1000 м
Режим работы	длительный
Температура окружающей среды	от -45 °С до +40 °С - У1
Рабочая частота	50 Гц
Номинальная мощность	630 кВ

Таблица 2 – Паспортные данные трансформатора

Тип трансформатора	Мощность трансформатора, кВА	Номинальное высшее напряжение, кВ	Номинальное низшее напряжение, кВ	Потери х.х., Вт	Потери к.з., кВт*	U _к , %	I _{хх} , %
ТМГ-630	630	6, 10	0,4	1240	7600	5,5	1,2

Специфика применения:

- Может работать в умеренных или холодных климатических условиях.
- Оптимален для наружного и внутреннего монтажа.
- Установка возможна не выше 1000 м над уровнем моря.
- Не может осуществлять работу в агрессивной химической среде.
- Обязательным условием для функционирования является естественная циркуляция воздуха.
 - Применяется в трехфазных электросетях.
 - Не способен функционировать при тряске, колебаниях и механическом воздействии.
 - Способствует снижению высоких показателей напряжения до приемлемых значений используемой электросети.

Характеристика провода: СИП–2 3х95+1х95

Таблица 3 – Характеристика провода

Номинальное переменное напряжение	1кВ
Количество жил	3+1 дополнительная жила
Сечение размер	95 + 70 мм ²

Схема ТП–10–12



Рисунок 3 – Схема подключения ТП–10–12

Трансформаторная подстанций ТП–10–12.

Данная подстанция питает 57 земельных участков.

Характеристика трансформатора идентична трансформатору ТП–10–11, за исключением номинальной мощности.

Таблица 4 – Паспортные данные трансформатора

Тип трансформатор	Мощность трансформатор	Номинально е выше	Номинально е ниже	Потер и	Потер и	Uк ,	Ixx
-------------------	------------------------	-------------------	-------------------	---------	---------	------	-----

a	a, кВА	напряжение, кВ	напряжение, кВ	х.х., Вт	к.з., кВт*	%	, %
ТМГ-400	400	6, 10	0,4	410	2700	4,5	1,2

Схема РТП–24

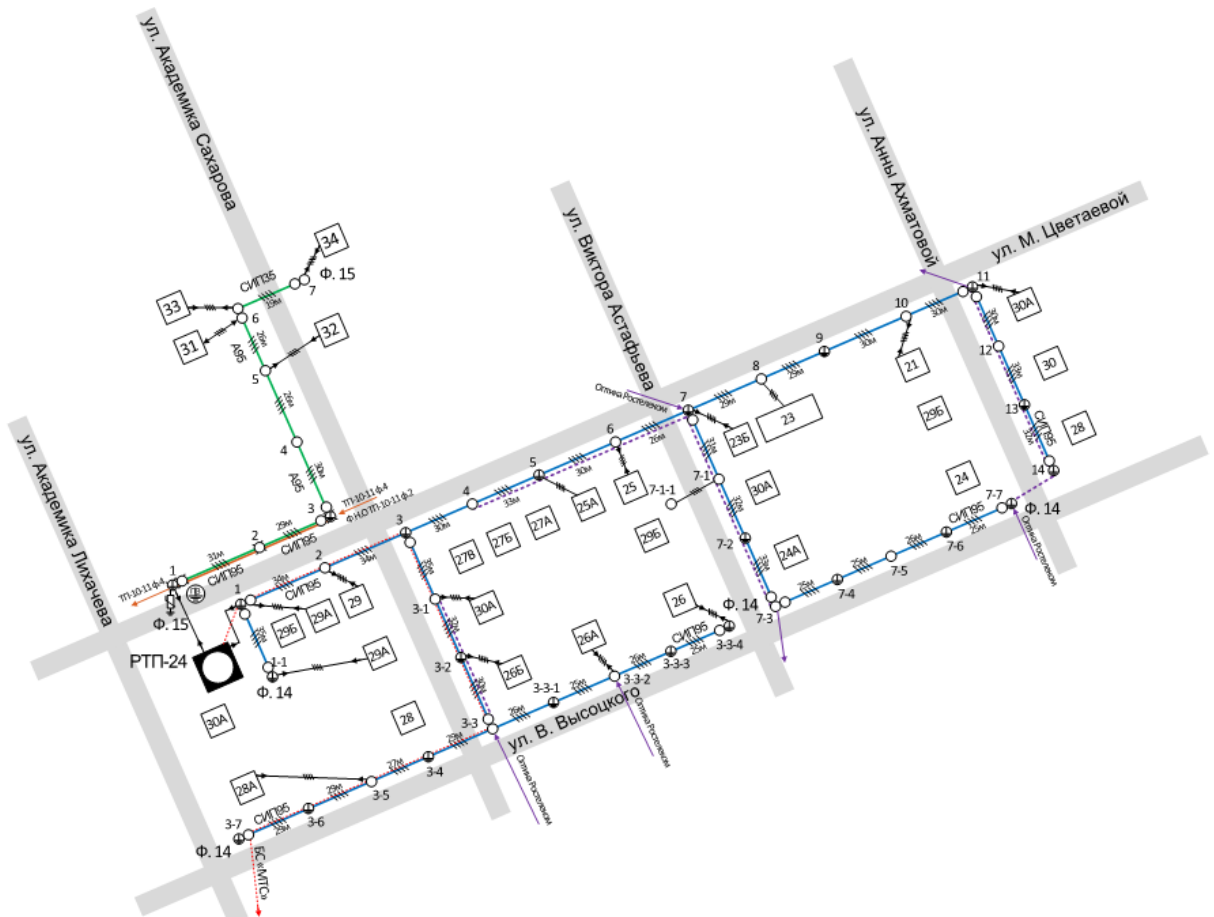


Рисунок 4 – Схема подключения РТП–24

Трансформаторная подстанция РТП–24

Данная подстанция питает 30 земельных участков.

Характеристика трансформатора:

Таблица 5 – Паспортные данные трансформатора

Тип трансформатор	Мощность трансформатора ,	Номинально е высшее напряжение,	Номинально е низшее напряжение,	Потер и х.х.,	Потер и к.з.,	U_k , %	I_{xx} , %
-------------------	---------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------	---------------	-----------	--------------

а	кВА	кВ	кВ	Вт	кВт		
ТМГ-1000	1000	10	0,4	1600	10,8	5,5	1,0

Характеристика провода:

Таблица 6 – Характеристика провода

Номинальное переменное напряжение	1кВ
Количество жил	4
Сечение размер	95 мм ²

Таблица 7 – Параметры существующих трансформаторов

№ ТП	Номинальная мощность кВА	Загрузка трансформатора на январь 2022г		Количество домов шт	Мощность выданная по Т.У.	Свободная мощность на январь 2022 кВт
		%	кВт			
10-11	630	53	317	65	1204	281
10-12	400	41	156	57	948	224
РТП-24	1000	16	152	30	273	798

В таблице № 8 указана существующая нагрузка X жилого района и произведен расчет дополнительной мощности в связи с переходом на электроотопление.

Таблица 8 – Нагрузка района

Проектируемый объект	Общая $P_{ном}$, кВт	Кол-во домов, шт	Общая $P_{пот}$, кВт	$P_{своб}$, кВт	Прирост P , кВт

Объект - в границах улиц: Дружная - Владимира Высоцкого - Академика Лихачева - массива Заречное	1 990	152	625,00	1 303,00	1 520,00
---	-------	-----	--------	----------	----------

Для перевода жилых домов, подключенных от ТП-10-11 и ТП-10-12 необходимо выполнить строительство новых ТП-10/0,4кВ и реконструкцию ВЛ-0,4кВ для перераспределения абонентов между подстанциями, а от РТП-24 строительство сетей ВЛ-0,4кВ.

2.2 Перевод схемы электроснабжения в связи с переходом на электроотопление

При замене или установке электрических котлов отопления увеличится присоединенная к электрическим сетям мощность каждого жилого дома, что повлечет рост потребления электрической энергии данного жилого района. При предварительном расчете общий прирост мощности составляет 1,52 МВт. Следовательно, существующие трансформаторные подстанции и линии электропередачи классом напряжения 10/0,4 кВ осуществляющие электроснабжение указанного выше жилого района не смогут реализовать переток возросшей нагрузки до конечных электроприемников. Избыточная нагрузка на электросети приведет к аварийным ситуациям: выходу из строя основного оборудования трансформаторных подстанций (силовых трансформаторов, выключателей, разъединителей), повреждению приборов и внутренней электропроводки жилых домов, возгоранию изоляции проводов ЛЭП.

В соответствии с нижеуказанной расчетной таблицей № 9 по приросту мощностей нами был разработан комплекс мероприятий по обеспечению нормального режима работы электросетевых объектов, в частности:

Таблица 9 – Комплекс мероприятий по объекту

№ п/п	Этапы строительства	Вид работ	Характеристика	Кол-во, шт/км
1	Перевод воздушной линии	Перевод части ВЛ-0,4 кВ РТП-24 ф.14 на ВЛ-0,4 кВ РТП-24 новый фидер.	СИП 3х95+1х95	0,200
		Перевод части ВЛ-0,4 кВ ТП-10-11 ф.1 на новый фидер.	СИП 3х95+1х95	0,260
		Перевод части ВЛ-0,4 кВ ТП-10-11 ф.4 на новый фидер.	СИП 3х95+1х95	0,420
		Перевод части ВЛ-0,4 кВ ТП-10-12 ф.2 на новый фидер.	СИП 3х95+1х95	0,035
		Перевод части ВЛ-0,4 кВ ТП-10-11 ф.4 на новый фидер.	СИП 3х95+1х95	0,060

2.2.1 Расчет электрической нагрузки существующей сети жилого дома

Выбор количества и мощности трансформаторных подстанций, сечений кабелей, защитной аппаратуры и электрооборудования зависит от определения электрических нагрузок. В жилых зданиях для определения нагрузки используется удельная нагрузка, которая зависит от размера жилой площади, типа кухонных электроприборов и наличия электрического отопления. Поскольку электрические нагрузки в жилых домах не являются постоянными, правильное их определение существенно для обеспечения правильной работы всего электроснабжения.

Расчёт нагрузок потребителя представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет нагрузок частного дома.

Наименование электроприёмников		Кол-во ЭП	Уст. мощность, кВт	Общая мощность, кВт	Коэффициент спроса	Коэффициент мощности		Расчетная мощность, кВт	Реактивная мощность, кВАр	Полная мощность, кВА
1		2	3	4	5	6		7	8	9
Обозначение		шт.	P кВт	P _y кВт	K _c	cosφ	tg φ	P _p =P _y ·K _c , кВт	Q _p =P _p ·tgφ, кВАр	S _p =√(P _p ² +Q _p ²), кВА
1	Варочная панель (электрическая плита)	1,00	3,00	3,00	0,40	1,00	0,00	1,1	0,00	1,20
2	Посудомоечная машина	1,00	1,20	1,20	0,30	0,80	0,75	0,36	0,27	0,45
3	Вентиляция	3,00	0,30	0,7	0,50	0,70	1,02	0,35	0,46	0,64
4	Розетки силовые	3,00	2,40	7,20	0,30	0,80	0,75	1,76	1,62	2,70
5	Освещение	3,00	0,40	1,10	0,70	1,00	0,00	0,64	0,00	0,84
6	Холодильник	1,00	0,60	0,60	0,50	0,70	1,02	0,30	0,31	0,43
7	Телевизор, компьютер, музыкальный центр	3,00	0,50	1,50	0,80	1,00	0,00	1,1	0,00	1,20
8	Стиральная машина	1,00	2,00	2,00	0,10	0,80	0,75	0,20	0,15	0,25
Итого ВСЕГО ДОМ				15,60				6,71	2,81	7,71
Нагрузки цокольного этажа										

Окончание таблицы 10

1		2	3	4	5	6		7	8	9
1	Циркуляционный насос	1,00	0,15	0,15	1,00	0,80	0,75	0,15	0,11	0,19
2	Глубинный насос	1,00	1,20	1,20	0,80	0,80	0,75	0,76	0,72	1,20
3	Освещение	1,00	0,20	0,20	0,10	1,00	0,00	0,02	0,00	0,02
4	Внешнее освещение	1,00	0,15	0,15	0,30	1,00	0,00	0,05	0,00	0,05
	Итого ВСЕГО			1,55				0,83	2,63	4,45
	ИТОГО общая мощность/ токи по фазам			17,15				7,54	5,44	12,16

2.2.2 Расчёт и реконструкция электрических нагрузок потребителей после перевода

При расчете электрического котла для отопления жилого дома необходимо учитывать различные рабочие характеристики электрических приборов, особенно важной из которых является тепловой показатель. Этот параметр играет ключевую роль в обеспечении нужного количества тепла для восполнения потерь тепла в доме и поддержания постоянного горячего водоснабжения. Для выбора котла определяем его мощность по формуле:

$$P = \frac{S \cdot P_{уд}}{100}, \text{ где:} \quad (2.1)$$

P - мощность электродкотла (кВт);

S - площадь отапливаемого объекта (m^2);

$P_{уд}$ - удельная мощность котла. Это значение рассчитано для каждой климатической зоны:

Южные регионы: 0,7-0,9 кВт;

Средняя полоса: 1,0-1,2 кВт;

Х жилой район находится в средней полосе. Принимаем значение 1 кВт.

Таблица 11 – Характеристика электродкотлов.

№	Наименование	Модель котла ZOTA Lux								
		3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21
1	Ориентировочная отапливаемая площадь,	30	45	60	75	90	120	150	180	210
2	Номинальная потребляемая мощность, кВт	3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21
3	Значение потребляемой мощности по ступеням, кВт									
4	Номинальное напряжение питания, В	380 (220) ± 10%					380 ± 10%			

Определяем полную мощность S , этого же участка по формуле

$$S = \frac{P}{\cos\phi}, \text{ где } \cos\phi \text{ принимаем } 0,95 \quad (2.2)$$

От ТП–10–11 запитаны 73 земельных участка.

Таблица 12 – Расчёт мощности потребителей, запитанных от ТП–10–11

Улица\потребитель	Площадь,м ²	Мощность, кВт	Мощность эл. котла, кВт	общая мощность, кВт
1	2	3	4	5
Бунина:				
потребитель №1	120	15	12	11,724
потребитель №2	303,6	15	33	24,324
потребитель №3	260,8	15	27	20,724
потребитель №4	149,7	15	15	13,524
потребитель №5	120	15	12	11,724
потребитель №6	150,4	15	15	13,524
потребитель №7	268,5	15	27	20,724
потребитель №8	230,5	50	24	18,924
потребитель №9	321,5	25	33	24,324
потребитель №10	312,3	15	33	24,324
потребитель №11	120	15	12	11,724
потребитель №12	159,6	15	18	15,324
потребитель №13	200,9	15	21	17,124
потребитель №14	281,1	15	30	22,524
потребитель №15	331	15	33	24,324
потребитель №16	129,2	21,25	15	13,524
потребитель №17	122,6	15	15	13,524
потребитель №18	74,6	15	7,5	8,316
потребитель №19	171,6	30	18	15,324
потребитель №20	235,9	15	24	18,924
потребитель №21	90,9	15	9	9,216
потребитель №22	306,4	26	33	24,324
потребитель №23	85,2	26	9	9,216
потребитель №24	242,7	15	27	20,724
потребитель №25	115,9	15	12	11,724
потребитель №26	101,1	15	12	11,724
потребитель №27	244,9	30	27	20,724
Дружная:				
потребитель №28	262,4	30	27	20,724
потребитель №29	248,4	30	27	20,724
потребитель №30	242,1	15	27	20,724
потребитель №31	127,2	15	15	13,524
Ахматовой:				
потребитель №32	109,9	15	12	11,724
потребитель №33	100,8	15	12	11,724
потребитель №34	205,8	30	21	17,124
потребитель №35	217,5	30	24	18,924
потребитель №36	197,7	15	21	17,124

Окончание таблицы 12

1	2	3	4	5
потребитель №37	281,1	15	30	22,524
потребитель №38	24	15	3	4,968
потребитель №39	89,8	15	9	9,216
Астафьева:				
потребитель №40	38,4	6	4,5	5,868
потребитель №41	149,2	15	15	13,524
потребитель №42	74,7	15	7,5	8,316
потребитель №43	166,8	15	18	15,324
потребитель №44	130,9	15	15	13,524
потребитель №45	104,3	15	12	11,724
потребитель №46	35	6	4,5	5,868
потребитель №47	118,2	15	13	12,324
Сахарова:				
потребитель №48	135,3	15	15	13,524
потребитель №49	29,5	6	3	4,968
потребитель №50	141,3	15	15	13,524
потребитель №51	210,5	15	21	17,124
потребитель №52	324	15	33	24,324
Лихачева:				
потребитель №53	42	15	4,5	5,868
потребитель №54	107,7	15	12	11,724
потребитель №55	131,8	15	15	13,524
потребитель №56	138	21	15	13,524
Цветаевой:				
потребитель №57	120,1	15	12	11,724
потребитель №58	126,6	15	15	13,524
потребитель №59	132,8	15	15	13,524
потребитель №60	97,5	15	12	11,016
потребитель №61	220,2	15	24	18,924
потребитель №62	143,2	15	15	13,524
потребитель №63	106,4	15	12	11,724
потребитель №64	273,8	15	30	22,524
потребитель №65	150,1	15	15	13,524
потребитель №66	200,2	15	21	17,124
потребитель №67	123,6	15	15	13,524
потребитель №68	156,8	25	18	15,324
потребитель №69	150	15	15	13,524
потребитель №70	272,9	40	27	20,724
потребитель №71	137,8	25	15	13,524
потребитель №72	185,7	15	21	17,124
потребитель №73	173,4	15	18	15,324
			Итого всего:	1101,924

От ТП–10–12 запитаны 62 земельных участка.

Таблица 13–Расчёт мощности потребителей, запитанных от ТП–10–12

Улица\потребитель	Площадь,м ²	Мощность, кВт	Мощность эл. котла, кВт	общая мощность, кВт
1	2	3	4	5
Ивана Бунина:				
потребитель №74	200,3	25	21	17,124
потребитель №75	134,7	15	15	13,524
потребитель №76	432,8	44	45	31,524
потребитель №77	94,5	15	12	11,016
Дружная:				
потребитель №78	125	15	15	13,524
потребитель №79	65,8	15	7,5	8,316
потребитель №80	71,7	13	7,5	8,316
потребитель №81	105	15	12	11,724
потребитель №82	98,8	15	12	11,016
потребитель №83	201,7	15	21	17,124
потребитель №84	201	40	21	17,124
Ахматовой:				
потребитель №85	156,25	15	18	15,324
потребитель №86	116,7	15	12	11,724
потребитель №87	33	6	4,5	5,868
потребитель №88	142	15	15	13,524
потребитель №89	214,8	35	24	18,924
потребитель №90	129,3	15	15	13,524
потребитель №91	154,7	15	18	15,324
потребитель №92	117,7	15	12	11,724
потребитель №93	194	25	21	17,124
потребитель №94	195	30	21	17,124
потребитель №95	122,5	15	15	13,524
потребитель №96	148,9	15	15	13,524
потребитель №97	201,7	20	21	17,124
потребитель №98	97	15	12	11,016
потребитель №99	41	6	6	6,768
потребитель №100	140,8	15	15	13,524
Астафьева:				
потребитель №101	132,6	15	15	13,524
потребитель №102	221	15	24	18,924
потребитель №103	173,9	15	18	15,324
потребитель №104	182,8	15	21	17,124
потребитель №105	144	15	15	13,524
потребитель №106	69,5	15	7,5	8,316
потребитель №107	122,8	15	15	13,524
потребитель №108	83,3	15	9	9,216
потребитель №109	99	15	12	11,016

Окончание таблицы 13

1	2	3	4	5
потребитель №110	115,1	25	12	11,724
потребитель №111	199,3	15	21	17,124
потребитель №112	111,7	15	12	11,724
потребитель №113	165,3	15	18	15,324
потребитель №114	96,9	15	12	11,016
потребитель №115	22	6	3	4,968
потребитель №116	470,6	20	48	33,324
потребитель №117	46,4	15	6	6,768
Сахаров:				
потребитель №118	127,6	15	15	13,524
потребитель №119	182,9	30	21	17,124
потребитель №120	92,7	15	9	9,216
потребитель №121	287,3	30	30	22,524
потребитель №122	153,2	30	18	15,324
потребитель №123	169,3	30	18	15,324
потребитель №124	132,7	15	15	13,524
потребитель №125	178,9	20	18	15,324
потребитель №126	114,4	15	12	11,724
			Итого всего:	742,068

От РТП–24 запитаны 25 земельных участка.

Таблица 14–Расчёт мощности потребителей, запитанных от РТП–24

Улица\потребитель	Площадь, м ²	Мощность, кВт	Мощность эл. котла, кВт	общая мощность, кВт
1	2	3	4	5
Виктора Астафьева:				
потребитель №127	320,8	50	33	24,324
потребитель №128	95,1	13	12	11,724
Анны Ахматовой:				
потребитель №129	235,8	15	24	18,924
потребитель №130	95,1	13	12	11,016
Марины Цветаевой:				
потребитель №131	212	30	24	18,924
потребитель №132	120,1	15	12	11,724
потребитель №133	353	50	36	26,124
потребитель №134	158	60	18	15,324
потребитель №135	381	15	39	27,924

Окончание таблицы 14

1	2	3	4	5
потребитель №136	137,8	25	15	13,524
потребитель №137	185,7	15	21	17,124
потребитель №138	163	15	18	15,324
потребитель №139	97,5	15	12	11,016
потребитель №140	228	20	24	18,924
потребитель №141	149,8	20	15	13,524
Владимира Высоцкого:				
потребитель №142	204	15	21	17,124
потребитель №143	304	50	33	24,324
потребитель №144	203,6	15	21	17,124
потребитель №145	174	30	18	15,324
потребитель №146	80	15	9	8,568
потребитель №147	80	15	9	8,568
потребитель №148	258,2	40	27	20,724
Академика Сахарова:				
потребитель №149	108	15	12	11,724
потребитель №150	214,1	90	24	18,924
потребитель №151	36	15	4,5	5,868
потребитель №152	203,2	45	21	17,124
			Итого всего	420,84

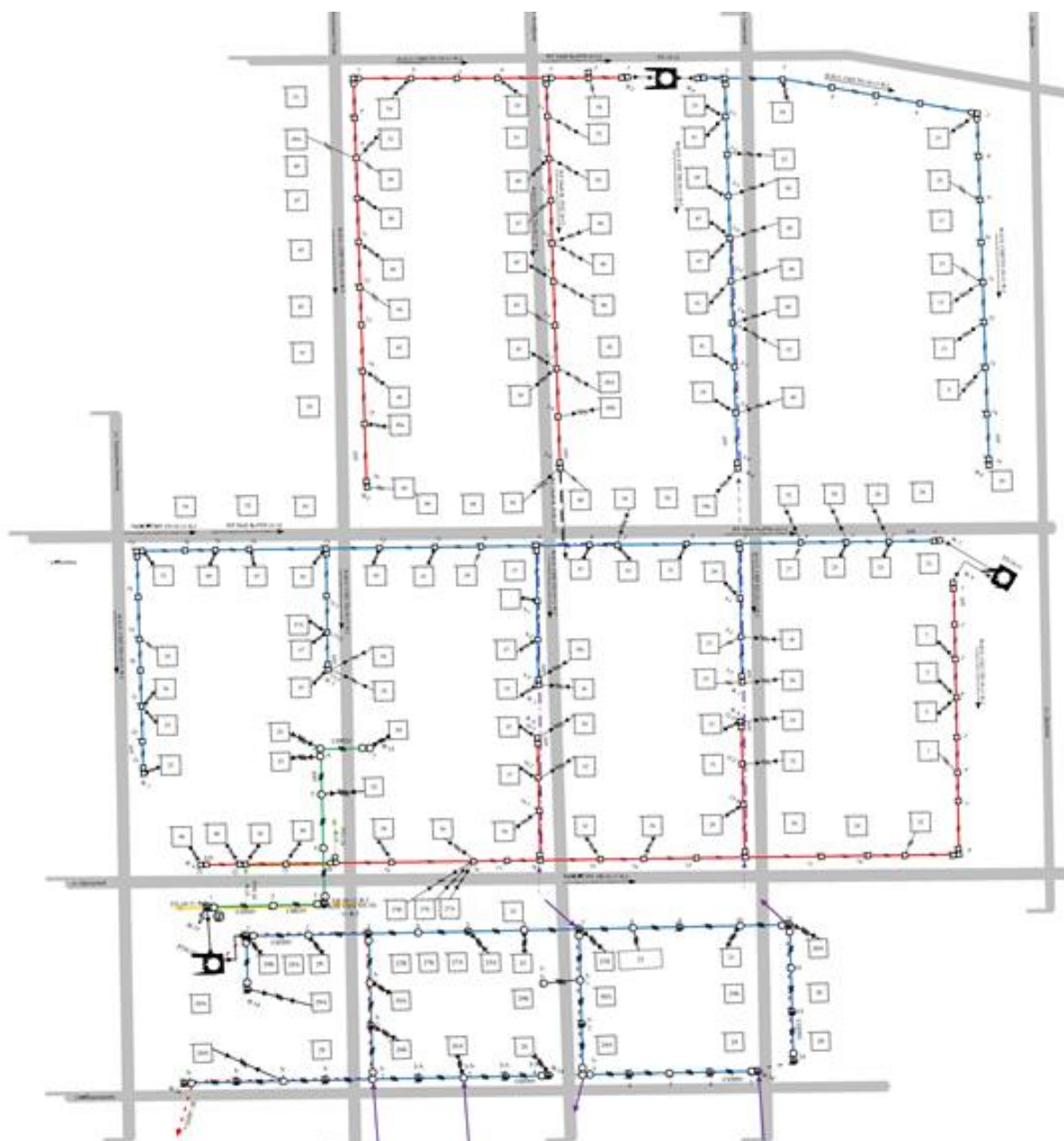


Рисунок 4 –Проектируемый жилой район

2.2.3 Определение потерь напряжения в распределительной сети 0,4 кВ

Потеря напряжения есть разность напряжений в начале и конце линии по отношению к номинальному напряжению. потеря напряжения определена формулой:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{U_{\text{НОМ}}}, \text{ В} \quad (2.3)$$

где P – активная мощность, кВт;

Q – реактивная мощность, кВАр;

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

r_0 – активное сопротивление линии, Ом/км;

x_0 – индуктивное сопротивление линии, Ом/км;

l – длина линии, км.

Определяем реактивную мощность Q рассчитываем по формуле:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \text{ кВАр} \quad (2.4)$$

Значения активного и индуктивного сопротивлений (Ом/км) для воздушных линий даны в справочных таблицах.

По абсолютному значению потерь напряжения из-за различного уровня номинальных напряжений, трудно судить о допустимости потерь напряжения, поэтому потери напряжения, определённые по формуле, выражают в процентах от номинального напряжения по формуле:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100, \% \quad (2.5)$$

2.2.4 Определение потерь энергии в распределительной сети 0,4 кВ

Одним из главных показателей работы компаний, занимающихся электросетями и энергосистемой, являются потери электрической энергии. Эти потери определяются как в процессе проектирования электросетей, так и в процессе их эксплуатации. Существует несколько методов расчёта нагрузочных потерь, но наиболее широко используемым является метод максимальных потерь, при котором потери энергии рассчитываются на основе максимальной нагрузки и количества часов, в течение которых максимальная нагрузка используется.

Потери мощности в трёхфазной линии определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{max}} = 3 \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot R_l, \text{ кВт} \quad (2.6)$$

Исходя из расчётной полной нагрузки и значения номинального напряжения, ток линий рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ А} \quad (2.7)$$

Потери энергии в трёхфазной линии определяются по формуле.

$$\Delta W_{\text{л}} = \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (2.8)$$

где τ – время максимальных потерь, то есть время, в течение которого электроустановка, работая с максимальной нагрузкой, имеет такие же потери, как и при работе по действительному графику нагрузок.

Значение времени потерь τ можно определить для сельских сетей из уравнения.

$$\tau = (0,124 + T_{\text{max}} \cdot 10^{-4})^2 T_{\text{год}}, \text{ ч} \quad (2.9)$$

где T_{max} – число часов использования максимума нагрузки. $T_{\text{max}} = 4000\text{ч}$.

$$\tau = (0,124 + 4000 \cdot 10^{-4}) \cdot 8760 = 2107 \text{ ч.}$$

Для вычислений потерь энергии в сетях 0.38 кВ в формулу потерь энергии подставим его составляющие в развёрнутом виде.

$$\Delta W_{\text{л}} = \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau = 3 \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (2.10)$$

Время максимальных потерь $\tau = 2107$ часов.

В связи с тем, что после установки котлов нагрузка на ТП увеличилась, необходима постройка новой ТП и перевод имеющихся ВЛ.

От ТП–10–11 запитаны 73 домовладений. При этом нагрузка на трансформатор составляла $K_3=53\%$ (333,68 кВА). Суммарная полная мощность всех домов после установки котлов составила $S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{1101}{0,924} = 1159,92$ кВА. Данное значение превышает первоначальную загрузку ТП. Исходя из этого, было решено поменять ТП–10–11 с 630 кВА на 1000 кВА и перевести часть домов на сеть РТП–24.

От ТП–10–12 запитаны 55 домовладений. При этом нагрузка на трансформатор составляла $K_3=41\%$ (164,21 кВА). Суммарная полная мощность всех домов после установки котлов составила $S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{742,068}{0,95} = 781,12$ кВА. Данное значение превышает первоначальную загрузку ТП. Исходя из этого, было решено разгрузить ТП–10–12 посредством строительства новой ТП.

От РТП–24 запитаны 26 домовладений. При этом нагрузка на трансформатор составляла $K_3 = 16\%$ (160 кВА). Суммарная полная мощность всех домов после установки котлов составила $S = \frac{P}{\cos\varphi} = 420,84 \frac{420,84}{0,95} = 442,98$ кВА. Данное значение не превышает первоначальную загрузку ТП. Из-за малой нагрузки ТП было решено загрузить РТП–24 новыми присоединениями.

Разгрузим ТП–10–11 посредством перевода части домов на сеть РТП–24.

Таблица 15 – Потребители, подключенные к РТП–24 от ТП–10–11

Улица\потребитель	Площадь, м ²	Мощность, кВт	Мощность эл. котла, кВт	общая мощность, кВт
1	2	3	4	5
Марины Цветаевой:				
потребитель №57	120,1	15	12	11,724
потребитель №58	126,6	15	15	13,524
потребитель №59	132,8	15	15	13,524
потребитель №60	97,5	15	12	11,016
потребитель №61	220,2	15	24	18,924
потребитель №62	143,2	15	15	13,524
потребитель №63	106,4	15	12	11,724
потребитель №64	273,8	15	30	22,524
потребитель №65	150,1	15	15	13,524
потребитель №66	200,2	15	21	17,124
потребитель №67	123,6	15	15	13,524
потребитель №68	156,8	25	18	15,324
потребитель №69	150	15	15	13,524
потребитель №70	272,9	15	27	20,724

Окончание таблицы 15

1	2	3	4	5
потребитель №71	137,8	15	15	13,524
потребитель №72	185,7	15	21	17,124
потребитель №73	173,4	15	18	15,324
Лихачева:				
потребитель №53	42	15	4,5	5,868
потребитель №54	107,7	15	12	11,724
потребитель №55	131,8	15	15	13,524
потребитель №56	138	21	15	13,524
Академика Сахарова:				
потребитель №48	135,3	15	15	13,524
потребитель №49	29,5	6	3	4,968
потребитель №50	141,3	15	15	13,524
потребитель №51	210,5	15	21	17,124
потребитель №52	324	15	33	24,324
Виктора Астафьева:				
потребитель №40	38,4	6	4,5	5,868
потребитель №41	149,2	15	15	13,524
потребитель №42	74,7	15	7,5	8,316
потребитель №43	166,8	15	18	15,324

Распределение получившейся сети представлено в таблице 16.

Таблица 16—Расчёт линий, подключенных к РТП—24 после перевода

1 линия 6 абонентов														
№	S	P,	Q,	L,	U,	R,	X,	$\Delta U,$	$\Delta U,$	I,	$\Delta W_{л}$	$\Delta W_{л}$	Сечение провода	W
	кВА	кВт	кВАр	м	кВ	Ом	Ом	В	%	А	кВт·ч	%		кВт·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №66	18,03	17,12	5,63	0,02	0,38	1,84	0,07	1,26	0,33	27,74	134,25	0,19	СИП-1 3x16+1x25	72101,05
потребитель №68	16,13	15,32	5,04	0,02				1,13	0,30	24,82	107,51	0,17		64522,11
потребитель №53	6,18	5,87	1,93	0,01				0,35	0,09	9,51	12,61	0,05		24707,37
потребитель №55	14,24	13,52	4,45	0,01				0,80	0,21	21,91	66,99	0,12		56943,16
потребитель №49	5,23	4,97	1,63	0,02				0,56	0,15	8,05	17,33	0,08		20917,89
потребитель №52	25,60	24,32	7,99	0,02				2,74	0,72	39,40	415,33	0,41		102416,84
2 линия 7 абонентов														
потребитель №67	14,24	13,52	4,45	0,02	0,38	1,84	0,07	0,99	0,26	21,91	83,73	0,15	СИП-1 3x16+1x25	56943,158
потребитель №65	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	21,91	83,73	0,15		56943,158
потребитель №54	12,34	11,72	3,85	0,01				0,69	0,18	18,99	50,34	0,10		49364,211
потребитель №56	16,13	15,32	5,04	0,01				0,90	0,24	24,82	86,00	0,13		64522,105
потребитель №48	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	21,91	83,73	0,15		56943,158
потребитель №50	14,24	13,52	4,45	0,01				0,66	0,17	21,91	55,82	0,10		56943,158
потребитель №51	18,03	17,12	5,63	0,01				0,84	0,22	27,74	89,50	0,12		72101,053
3 линия 9 абонентов														
потребитель №57	12,34	11,72	3,85	0,02	0,38	1,84	0,07	0,86	0,23	18,99	62,93	0,13	СИП-1 3x16+1x25	49364,211
потребитель №58	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	21,91	83,73	0,15		56943,158
потребитель №59	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	21,91	83,73	0,15		56943,158

Окончание таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №60	11,60	11,02	3,62	0,02	0,38	1,84	0,07	0,81	0,21	17,85	55,56	0,12	СИП-1 3x16+1x25	46383,158
потребитель №61	19,92	18,92	6,22	0,02				1,39	0,37	30,66	163,95	0,21		79680
потребитель №62	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	21,91	83,73	0,15		56943,158
потребитель №71	14,24	13,52	4,45	0,04				2,65	0,70	21,91	223,29	0,39		56943,158
потребитель №72	18,03	17,12	5,63	0,04				3,52	0,93	27,74	375,89	0,52		72101,053
потребитель №73	16,13	15,32	5,04	0,04				3,30	0,87	24,82	315,35	0,49		64522,105
4 линия 8 абонентов														
потребитель №40	6,18	5,87	1,93	0,02	0,38	1,84	0,07	0,43	0,11	9,51	15,76	0,06	СИП-1 3x16+1x25	24707,368
потребитель №41	14,24	13,52	4,45	0,02				1,13	0,30	21,91	94,90	0,17		56943,158
потребитель №42	8,75	8,32	2,73	0,01				0,41	0,11	13,47	21,11	0,06		35014,737
потребитель №43	16,13	15,32	5,04	0,02				1,13	0,30	24,82	107,51	0,17		64522,105
потребитель №63	12,34	11,72	3,85	0,01				0,69	0,18	18,99	50,34	0,10		49364,211
потребитель №64	23,71	22,52	7,40	0,02				1,66	0,44	36,49	232,26	0,24		94837,895
потребитель №65	14,24	13,52	4,45	0,01				0,66	0,17	21,91	55,82	0,10		56943,158
потребитель №70	21,81	20,72	6,81	0,03				3,05	0,80	33,57	393,25	0,45		87258,947

Таблица 17—Расчёт линий, подключенных к РТП—24 от ТП—10—11

1 Линия 6 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l, км
85,40	81,13	26,67	129,9	515	СИП-2 3x240+1x95	15,41	4,06	6530,22	1,91	0,52
2 Линия 7 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l, км
103,44	98,27	32,30	157,3	515	СИП-2 3x240+1x95	14,38	3,79	7383,46	1,78	0,40
3 линия 9 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l, км
117,40	111,5 3	36,66	178,5	436	СИП-2 3x185+1x95	10,16	2,67	6118,43	1,30	0,19
4 линия 8 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l, км
114,56	108,8 3	35,77	174,2	300	СИП-2 3x95+1x95	28,33	7,45	6791,70	1,48	0,30

Таблица 18—Расчёт линий, подключенных к ТП—10—11, после перевода

1 линия 11 абонентов														
№	S	P,	Q,	L,	U,	R,	X,	$\Delta U,$	$\Delta U,$	W	I,	$\Delta W_{л}$	$\Delta W_{л}$	Сечение провода
	кВА	кВт	кВАр	км	кВ	Ом	Ом	В	%	кВт·ч	А	кВт·ч	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №5	12,34		3,85	0,22	0,38	1,84	0,07	12,64	3,33	49364,21	2,74	19,24	0,039	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №6	14,24	13,52	4,45	0,22				14,58	3,84	56943,16	3,16	25,61	0,045	
потребитель №7	21,81	20,72	6,81	0,22				22,34	5,88	87258,95	4,85	60,13	0,069	
потребитель №8	19,92	18,92	6,22	0,22				20,40	5,37	79680,00	4,43	50,14	0,063	
потребитель №9	25,60	24,32	7,99	0,15				17,88	4,71	102416,84	5,69	56,48	0,055	
потребитель №36	18,03	17,12	5,63	0,10				8,39	2,21	72101,05	4,01	18,66	0,026	
потребитель №38	5,23	4,97	1,63	0,10				2,43	0,64	20917,89	1,16	1,57	0,008	
потребитель №32	12,34	11,72	3,85	0,13				7,47	1,97	49364,21	2,74	11,37	0,023	
потребитель №34	18,03	17,12	5,63	0,15				12,59	3,31	72101,05	4,01	27,99	0,039	
потребитель №28	21,81	20,72	6,81	0,18				18,28	4,81	87258,95	4,85	49,20	0,056	
потребитель №30	21,81	20,72	6,81	0,18	18,28	4,81	87258,95	4,85	49,20	0,056				
2 линия 10 абонентов														
№	S	P,	Q,	L,	U,	R,	X,	$\Delta U,$	$\Sigma \Delta U,$	W	I,	$\Delta W_{л}$	$\Delta W_{л}$	Сечение провода
	кВА	кВт	кВАр	км	кВ	Ом	Ом	В	%	кВт·ч	А	кВт·ч	%	
потребитель №1	12,34	11,72	3,85	0,01	0,38	1,84	0,07	0,75	0,20	49364,21	2,74	1,14	0,002	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №3	21,81	20,72	6,81	0,01				1,32	0,35	87258,95	4,85	3,55	0,004	
потребитель №2	25,60	24,32	7,99	0,01				1,55	0,41	102416,84	5,69	4,89	0,005	
потребитель №4	14,24	13,52	4,45	0,01				0,86	0,23	56943,16	3,16	1,51	0,003	
потребитель №37	23,71	22,52	7,40	0,02				1,99	0,52	94837,89	5,27	5,81	0,006	

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4,	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №39	9,70	9,22	3,03	0,02	0,38	1,84	0,07	0,81	0,21	38804,21	2,16	0,97	0,003	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №33	12,34	11,72	3,85	0,02				1,03	0,27	49364,21	2,74	1,57	0,003	
потребитель №35	19,92	18,92	6,22	0,02				1,67	0,44	79680,00	4,43	4,10	0,005	
потребитель №29	21,81	20,72	6,81	0,20				20,31	5,35	87258,95	4,85	54,66	0,063	
потребитель №31	14,24	13,52	4,45	0,26				17,23	4,53	56943,16	3,16	30,26	0,053	
3 линия 15 абонентов														
1	2	3	4,	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №10	25,60	24,32	7,99	0,01	0,38	1,84	0,07	1,55	0,41	102416,84	5,69	4,89	0,0048	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №11	12,34	11,72	3,85	0,01				0,75	0,20	49364,21	2,74	1,14	0,0023	
потребитель №12	16,13	15,32	5,04	0,01				0,98	0,26	64522,11	3,58	1,94	0,003	
потребитель №13	18,03	17,12	5,63	0,03				2,35	0,62	72101,05	4,01	5,23	0,0072	
потребитель №14	23,71	22,52	7,40	0,03				3,09	0,81	94837,89	5,27	9,04	0,0095	
потребитель №15	25,60	24,32	7,99	0,02				1,79	0,47	102416,84	5,69	5,65	0,0055	
потребитель №16	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	56943,16	3,16	1,75	0,0031	
потребитель №17	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	56943,16	3,16	1,75	0,0031	
потребитель №18	8,75	8,32	2,73	0,02				0,61	0,16	35014,74	1,95	0,66	0,0019	
потребитель №19	16,13	15,32	5,04	0,03				1,88	0,49	64522,11	3,58	3,74	0,0058	
потребитель №20	19,92	18,92	6,22	0,03				2,32	0,61	79680,00	4,43	5,70	0,0072	
потребитель №44	14,24	13,52	4,45	0,01				0,80	0,21	56943,16	3,16	1,40	0,0025	
потребитель №45	12,34	11,72	3,85	0,02				0,92	0,24	49364,21	2,74	1,40	0,0028	
потребитель №46	6,18	5,87	1,93	0,01				0,35	0,09	24707,37	1,37	0,26	0,0011	
потребитель №47	12,97	12,32	4,05	0,02				1,21	0,32	51890,53	2,88	1,93	0,0037	

Окончание таблица 18

4 линия 7 абонентов														
1	2	3	4,	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №21	9,70	9,22	3,03	0,02	0,38	1,84	0,07	0,90	0,24	38804,21	2,16	1,08	0,0028	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №22	25,60	24,32	7,99	0,01				0,95	0,25	102416,84	5,69	3,01	0,0029	
потребитель №23	9,70	9,22	3,03	0,01				0,36	0,10	38804,21	2,16	0,43	0,0011	
потребитель №24	21,81	20,72	6,81	0,01				1,02	0,27	87258,95	4,85	2,73	0,0031	
потребитель №25	12,34	11,72	3,85	0,03				1,44	0,38	49364,21	2,74	2,19	0,0044	
потребитель №26	12,34	11,72	3,85	0,03				1,44	0,38	49364,21	2,74	2,19	0,0044	
потребитель №27	21,81	20,72	6,81	0,03				2,54	0,67	87258,95	4,85	6,83	0,0078	

Таблица 19—Расчёт линий, подключенные к ТП–10–11 после перевода

1 Линия 11 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΣΔU, В	ΔU, %	ΔW _л , кВт·ч	ΔW _л , %	l, км
191,17	181,61	59,69	290,79	515,00	СИП-2 3х240+1х95	6,80	25,85	6335,43	0,83	0,39
2 Линия 10 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΣΔU, В	ΔU, %	ΔW _л , кВт·ч	ΔW _л , %	
175,72	166,93	54,87	267,29	515,00	СИП-2 3х240+1х95	7,14	27,14	7149,75	1,02	0,44
3 линия 15 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΣΔU, В	ΔU, %	ΔW _л , кВт·ч	ΔW _л , %	
240,42	228,40	75,07	365,71	380,00	СИП-2 3х150+1х95	8,52	32,37	3152,22	0,33	0,25
4 линия 7 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	ΣΔU, В	ΔU, %	ΔW _л , кВт·ч	ΔW _л , %	
113,32	107,65	35,38	172,37	195,00	СИП-2 3х50+1х95	6,06	23,02	4029,58	0,89	0,13

После перевода части домов с ТП–10–11 на РТП–24 нагрузка на ТП–10–11 уменьшилась с 1159,92 кВА до 720,62 кВА.

$$S_{\text{ТП}} = 720,62 \text{ кВА.}$$

Значит, произведем замену трансформатора на 1000 кВА.

Выбираем КТП 1000/10/0,4

$$\text{ТП–10–11 } K_3 = \frac{720,62}{1000} * 100 = 72,06\%$$

Таблица 20—Расчёт линий, подключенных к ТП№1, после перевода

1 линия 12 абонентов														
№	S	P,	Q,	L,	U,	R,	X,	ΔU,	ΣΔU,	W	I,	ΔW _л	ΔW _л	Сечение провода
	кВА	кВт	кВАр	км	кВ	Ом	Ом	В	%	кВт·ч	А	кВт·ч	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №78	14,24	13,52	4,45	0,02	0,38	1,84	0,07	1,33	0,35	56943,16	3,16	2,33	0,0041	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №80	8,75	8,32	2,73	0,02				0,82	0,21	35014,74	1,95	0,88	0,0025	
потребитель №82	11,60	11,02	3,62	0,03				1,35	0,36	46383,16	2,58	1,93	0,0042	
потребитель №84	18,03	17,12	5,63	0,02				1,43	0,38	72101,05	4,01	3,17	0,0044	
потребитель №85	16,13	15,32	5,04	0,02				1,20	0,32	64522,11	3,58	2,39	0,0037	
потребитель №87	6,18	5,87	1,93	0,02				0,46	0,12	24707,37	1,37	0,35	0,0014	
потребитель №91	16,13	15,32	5,04	0,02				1,13	0,30	64522,11	3,58	2,24	0,0035	
потребитель №93	18,03	17,12	5,63	0,02				1,26	0,33	72101,05	4,01	2,80	0,0039	
потребитель №95	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	56943,16	3,16	1,75	0,0031	
потребитель №97	18,03	17,12	5,63	0,02				1,26	0,33	72101,05	4,01	2,80	0,0039	
потребитель №99	7,12	6,77	2,22	0,02				0,50	0,13	28496,84	1,58	0,44	0,0015	
потребитель №74	18,03	17,12	5,63	0,02				1,68	0,44	72101,05	4,01	3,73	0,0052	
2 линия 12 абонентов														
№	S	P,	Q,	L,	U,	R,	X,	ΔU,	ΣΔU,	W	I,	ΔW _л	ΔW _л	Сечение провода
	кВА	кВт	кВАр	км	кВ	Ом	Ом	В	%	кВт·ч	А	кВт·ч	%	
потребитель №79	8,75	8,32	2,73	0,02	0,38	1,84	0,07	0,61	0,16	35014,74	1,95	0,66	0,0019	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №81	12,34	11,72	3,85	0,02				0,86	0,23	49364,21	2,74	1,31	0,0027	
потребитель №83	18,03	17,12	5,63	0,02				1,26	0,33	72101,05	4,01	2,80	0,0039	

Окончание таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №86	12,34	11,72	3,85	0,02	0,38	1,84	0,07	0,98	0,26	49364,21	2,74	1,49	0,003	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №89	19,92	18,92	6,22	0,02				1,39	0,37	79680,00	4,43	3,42	0,0043	
потребитель №88	14,24	13,52	4,45	0,02				1,13	0,30	56943,16	3,16	1,98	0,0035	
потребитель №90	14,24	13,52	4,45	0,02				1,13	0,30	56943,16	3,16	1,98	0,0035	
потребитель №92	12,34	11,72	3,85	0,02				0,98	0,26	49364,21	2,74	1,49	0,003	
потребитель №94	18,03	17,12	5,63	0,02				1,43	0,38	72101,05	4,01	3,17	0,0044	
потребитель №96	14,24	13,52	4,45	0,02				1,13	0,30	56943,16	3,16	1,98	0,0035	
потребитель №98	11,60	11,02	3,62	0,02				0,92	0,24	46383,16	2,58	1,31	0,0028	
потребитель №100	14,24	13,52	4,45	0,02				0,99	0,26	56943,16	3,16	1,75	0,0031	

Таблица 21 – Расчёт линий, подключенных к ТП№1, после перевода

1 Линия 12 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	$\Sigma\Delta U,$ В	$\Delta U,$ %	$\Delta W_{л},$ кВт·ч	$\Delta W_{л},$ %	l,км
166,48	158,16	51,98	253,25	515,00	СИП-2 3x240+1x95	7,66	29,11	6213,23	0,93	0,50
2 Линия 12 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Iдоп, А	Сечение	$\Sigma\Delta U,$ В	$\Delta U,$ %	$\Delta W_{л},$ кВт·ч	$\Delta W_{л},$ %	
170,29	161,77	53,17	259,03	515,00	СИП-2 3x240+1x95	7,77	29,51	6176,18	0,91	0,50

Таблица 22— Расчёт линий, подключенных к ТП—10—12, после перевода

1 линия 8 абонентов														
№	S	P,	Q,	L,	U,	R,	X,	ΔU,	ΔU,	W	I,	ΔW _л	ΔW _л	Сечение провода
	кВА	кВт	кВАр	м	кВ	Ом	Ом	В	%	кВт·ч	А	кВт·ч	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №110	12,34	11,72	3,85	0,02	0,38	1,84	0,07	1,72	0,45	49364,21	18,99	71,32	0,14	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №112	12,34	11,72	3,85	0,01				1,72	0,45	49364,21	18,99	54,54	0,11	
потребитель №108	9,70	9,22	3,03	0,03				1,36	0,36	38804,21	14,93	64,81	0,17	
потребитель №107	14,24	13,52	4,45	0,01				1,99	0,52	56943,16	21,91	55,82	0,10	
потребитель №106	8,75	8,32	2,73	0,03				1,22	0,32	35014,74	13,47	52,77	0,15	
потребитель №104	18,03	17,12	5,63	0,03				2,52	0,66	72101,05	27,74	223,74	0,31	
потребитель №101	14,24	13,52	4,45	0,02				1,99	0,52	56943,16	21,91	111,64	0,20	
потребитель №102	19,92	18,92	6,22	0,01				2,78	0,73	79680,00	30,66	109,30	0,14	
2 линия 8 абонентов														
потребитель №117	7,12	6,77	2,22	0,02	0,38	1,84	0,07	1,00	0,26	28496,84	10,96	27,96	0,10	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №115	5,23	4,97	1,63	0,02				0,73	0,19	20917,89	8,05	11,30	0,05	
потребитель №113	16,13	15,32	5,04	0,02				2,25	0,59	64522,11	24,82	121,84	0,19	
потребитель №111	18,03	17,12	5,63	0,02				2,52	0,66	72101,05	27,74	152,14	0,21	
потребитель №109	11,60	11,02	3,62	0,02				1,62	0,43	46383,16	17,85	62,96	0,14	
потребитель №103	16,13	15,32	5,04	0,01				2,25	0,59	64522,11	24,82	71,67	0,11	
потребитель №75	14,24	13,52	4,45	0,02				1,99	0,52	56943,16	21,91	83,73	0,15	

Окончание таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
потребитель №76	33,18	31,52	10,36	0,02	0,38	1,84	0,07	4,63	1,22	132732,63	51,07	454,96	0,34	СИП-1 3x16+1x25
3 линия 9 абонентов														
потребитель №125	16,13	15,32	5,04	0,02	0,38	1,84	0,07	2,25	0,59	64522,11	24,82	107,51	0,17	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №123	14,24	13,52	4,45	0,02				1,99	0,52	56943,16	21,91	111,64	0,20	
потребитель №126	12,34	11,72	3,85	0,04				1,72	0,45	49364,21	18,99	146,83	0,30	
потребитель №121	23,71	22,52	7,40	0,02				3,31	0,87	94837,89	36,49	232,26	0,24	
потребитель №119	18,03	17,12	5,63	0,01				2,52	0,66	72101,05	27,74	71,60	0,10	
4 линия 8 абонентов														
потребитель №124	16,13	15,32	5,04	0,02	0,38	1,84	0,07	2,25	0,59	64522,11	24,82	107,51	0,17	СИП-1 3x16+1x25
потребитель №122	16,13	15,32	5,04	0,02				2,25	0,59	64522,11	24,82	121,84	0,19	
потребитель №120	9,70	9,22	3,03	0,02				1,36	0,36	38804,21	14,93	51,85	0,13	
потребитель №118	14,24	13,52	4,45	0,02				1,99	0,52	56943,16	21,91	83,73	0,15	
потребитель №124	16,13	15,32	5,04	0,02				2,25	0,59	64522,11	24,82	121,84	0,19	

Таблица 23— Расчёт линий, подключенных к ТП—10—12, после реконструкции

1 Линия 8 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВА р	Iрас, А	Идоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l,км
109,55	104,0 8	34,21	166,6 5	515,0 0	СИП-2 3x240+1x9 5	10,8 5	2,86	5900,9 5	1,35	0,29
2 Линия 8 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВА р	Iрас, А	Идоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l,км
121,65	115,5 7	37,99	185,0 5	515,0 0	СИП-2 3x240+1x9 5	12,9 0	3,39	7787,2 0	1,60	0,31
3 линия 5 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВА р	Iрас, А	Идоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l,км
84,44	80,22	26,37	128,4 5	436,0 0	СИП-2 3x185+1x9 5	13,6 3	3,59	5904,4 9	1,75	0,36
4 линия 8 абонентов										
S, кВА	P, кВт	Q, кВА р	Iрас, А	Идоп, А	Сечение	ΔU , В	$\Sigma \Delta U$, %	$\Delta W_{л}$, кВт·ч	$\Delta W_{л}$, %	l,км
72,33	68,71	22,58	110,0 2	300,0 0	СИП-2 3x95+1x95	21,4 6	5,65	3248,9 5	1,12	0,36

3 Расчет схемы распределительной сети 10кВ после реконструкции

Так как мощность в сети 10 кВ будет увеличена, проведем расчет электрической нагрузки на разных участках сети и выберем соответствующее сечение проводников.

Определим активную мощность трансформаторной подстанций 10/0,4кВ согласно формуле:

$$P = S * K_3 * \cos\varphi, \text{ кВт} \quad (3.1)$$

Активная мощность ТП равна:

$$\text{ТП 400 кВА } P=400 \cdot 0,86 \cdot 0,95=326,8 \text{ кВт};$$

$$\text{ТП 1000 кВА } P=1000 \cdot 0,86 \cdot 0,95=817 \text{ кВт};$$

Определяем полную мощность S участка, питающегося от ТП№1

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}, \text{ кВА} \quad (3.2)$$

$$S = \frac{319,93}{0,95} = 336,76 \text{ кВА}$$

Определяем реактивную мощность Q

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \text{ кВАр} \quad (3.3)$$

$$Q = \sqrt{336,76^2 - 319,93^2} = 105,157 \text{ кВАр}$$

Аналогично проводим расчёты для ТП–10–11

$$S = \frac{684,6}{0,95} = 720,63 \text{ кВА}$$

$$Q = \sqrt{720,63^2 - 684,6^2} = 225,012 \text{ кВАр.}$$

3.1 Расчет проводов и выбор сечения проводников

Исходя из расчётной полной нагрузки проектируемого объекта и значения номинального напряжения, рассчитывается ток линии по формуле

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n}, \text{ А} \quad (3.4)$$

Для ТП№1

$$I = \frac{319,93}{\sqrt{3} * 10} = 18,47 \text{ А.}$$

Для ТП–10–11

$$I = \frac{684,6}{\sqrt{3} * 10} = 39,5 \text{ А.}$$

3.2 Определение потерь электрической сети 10кВ

Потери на участках линии находим по тем же формулам, каким рассчитывали потери напряжения электрической сети 0,4 кВ.

Подстанции проектируемой территории питаются от ПС Юго-Западная 110/10.

Таблица 25– Расчёт линий 10 кВ

подстанция	S, кВА	P, кВт	Q, кВАр	Iрас, А	Идоп, А	Сечение	ΔU, В	ΣΔU, %	W,кВт·ч	ΔW _л , кВт·ч	ΔW _л , %	l,км
ТП№1	336,7	319,9	105,2	19,47	245	СИП-3 3х50	32,7	0,33	1347073	5346,3	0,4	3,1
ТП-10-11	720,6	684,6	225	41,66			67,7	0,68	2882526	23690	0,82	3,0

4 Выбор оборудования распределительной сети

4.1 Выбор оборудования на напряжение 10 кВ

Выбор выключателя на напряжение 10 кВ – это серьезный вопрос, который требует правильного подхода. В первую очередь необходимо учитывать такие факторы, как мощность присоединяемых к выключателю устройств, условия эксплуатации (внутри помещения или на открытом воздухе), методы коммутации (механическая, электромагнитная и т.д.), назначение выключателя (для подключения к сети, для безопасной эксплуатации оборудования), уровень надежности и прочность конструкции и многое другое. К тому же, стоит обратить внимание на производителя и

сертификацию выключателя, чтобы гарантировать его качество и соответствие нормам безопасности. Однако правильный выбор выключателя – это лишь первый шаг к обеспечению надежной и безопасной работы системы электроснабжения. Для лучшей эффективности и экономичности необходимо регулярно производить обслуживание и проверку состояния оборудования.

От ТП№1 до ПС Юго-Западная:

$U_{\text{номВЛ}}=10$ кВ, $I_{\text{ном.ВЛ}}=19,5$ А. Выбираем выключатель ВВТЭ–М–10–20/630 с $U_{\text{ном}}=10$ кВ, $I_{\text{ном}}=630$ А.[15]

От ТП–10–11 до ПС Юго-Западная:

$U_{\text{номВЛ}}=10$ кВ, $I_{\text{ном.ВЛ}}=41,7$ А. Выбираем выключатель ВВТЭ–М–10–20/630 с $U_{\text{ном}}=10$ кВ, $I_{\text{ном}}=630$ А.

ВВТЭ-М-10-20/630 со следующими параметрами:

- Номинальное напряжение, кВ: 10;
- Наибольшее рабочее напряжение, кВ: 12;
- Номинальный ток, А: 630;
- Номинальный ток отключения, кА: 20;
- Собственное время отключения, мс: 30;
- Полное время отключения, мс: 18;
- Собственное время включения, мс: 100.

4.2 Выбор оборудования на напряжение ниже 1 кВ

Для защиты линий 0,4 кВ будем использовать выключатели ВА88.[16]

Таблица 26– Технические параметры выключателей в зависимости от типа исполнения

Наименование параметра	ВА88 - 32	ВА88 - 33	ВА88 - 35	ВА88 - 37	ВА88 - 40
1	2	3	4	5	6
Максимальный номинальный ток $I_{\text{ном}}$, А	125	160	250	400	800

Окончание таблицы 26

1	2		3		4	5	6
Номинальный ток $I_{ном}$, А	12,5, 16, 25, 32, 40	50, 63, 80, 100, 125	16, 25, 32, 40, 50	63, 80, 100, 125, 160	63, 80, 100, 125, 160, 200, 250	250, 315, 400	400, 500, 630, 800
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность, кА	17,5		17,5		35	35	35
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность, кА	25		35		35	35	35

Таблица 27— Выбор выключателей на 0,4 кВ.

№ ТП		$I_{раб}$, А	$I_{ном.рас}$, А	Тип выключателя	$I_{ном,А}$	$I_{ном,расц,т, А}$	$I_{откл}$, кА
РТП-24	1 линия	129,9	162,38	ВА88-35	312	250	35
	2 линия	157,3	196,63	ВА88-35	312	250	35
	3 линия	178,6	223,25	ВА88-35	312	250	35
	4 линия	174,3	217,88	ВА88-35	312	250	35
ТП-10-11	1 линия	290,79	363,49	ВА88-37	400	320	35
	2 линия	267,29	334,11	ВА88-37	400	320	35
	3 линия	365,71	457,14	ВА88-40	500	400	35
	4 линия	172,37	215,46	ВА88-35	312	250	35
ТП№1	1 линия	253,25	316,56	ВА88-37	400	320	35
	2 линия	259,03	323,79	ВА88-37	400	320	35

Окончание таблицы 27

№ ТП		И _{раб} , А	И _{ном.рас} , А	Тип выключателя	И _{ном} ,А	И _{ном,расц,т} , А	И _{откл} , кА
ТП-10-12	1 линия	166,65	208,31	ВА88-35	312	250	35
	2 линия	185,05	231,31	ВА88-35	312	250	35
	3 линия	128,45	160,56	ВА88-35	312	250	35
	4 линия	110,02	137,53	ВА88-32	160	125	12,5

5 Расчёт токов короткого замыкания

5.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Расчет токов короткого замыкания в электросети 10 кВ необходим для обеспечения безопасной эксплуатации оборудования и защиты электроустановок от повреждений. Ток короткого замыкания определяется путем измерения параметров сети, таких как сопротивление, емкость и индуктивность, а также учитывается мощность и расположение источников питания. На основании этих данных производится расчет тока, который возникает при коротком замыкании в конкретном участке сети. Эта информация необходима для выбора устройств защиты и настройки их параметров, чтобы исключить повреждение оборудования и обеспечить безопасность персонала.

Схема замещения электрической сети - это упрощённая модель электрической сети, представленная в виде множества идеализированных элементов (обычно RLC), которые представляют поведение реальных элементов системы (линий передачи, трансформаторов и т.д.) в некотором определенном режиме работы.

С помощью схемы замещения можно вычислить параметры напряжения, тока и мощности в любой точке электрической сети в заданный момент времени при известных параметрах элементов схемы и заданном

режиме работы сети. Схема замещения используется для проектирования и расчета электроэнергетических систем, а также для анализа и оптимизации их работы.

Одна из основных целей использования схемы замещения электрической сети заключается в том, чтобы свести сложное поведение электрической сети к относительно простым математическим зависимостям, что облегчает процесс моделирования и симуляции электрических систем в различных условиях.

Сопротивление системы найдем по формуле:

$$X_c = \frac{S_6}{S_{откл}}, \text{ о.е.} \quad (5.1)$$

где $S_{откл}$ –отключающая способность головного выключателя, МВА;
 S_6 – базисное значение мощности, равное 100 МВА.

$$S_{откл} = \sqrt{3} \cdot I_{ном\ откл} \cdot U_{ном}, \text{ МВА} \quad (5.2)$$

где $I_{ном.откл.}$, $U_{ном.}$ – паспортные данные головного выключателя.

$$S_{откл} = \sqrt{3} \cdot 25 \cdot 10 = 433,01 \text{ МВА}$$

Сопротивления элементов системы электроснабжения приводим к базисным уровням. Сопротивления линий определяются по выражениям:

$$R = r_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \text{ Ом} \quad (5.3)$$

$$X = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \text{ Ом} \quad (5.4)$$

где r_0 и x_0 – удельное активное и реактивное сопротивления линий, Ом/км; L – длина линии, км.

Рассмотрим точку К1 короткого замыкания:

$$Z_{\Sigma} = \frac{S_6}{S_{отк}}, \text{ о. е.} \quad (5.5)$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{100}{433,01} = 0,23 \text{ о. е}$$

Расчет сопротивлений сведем в таблицу 27.

Таблица 27 –Расчёт сопротивлений

участок	L, км	F, мм2	r0, Ом/км	x0, Ом/км	R, о.е.	X, о.е.
ПС-ТП№1	3,1	35	0,369	0,278	1,14	0,86
ПС-ТП-10-12	3	35	0,369	0,278	1,1	0,83

Базисное значение тока найдем по формуле:

$$I_6 = \frac{S_6}{U_6 \cdot \sqrt{3}}, \text{ кА} \quad (5.6)$$

где U_6 – базисное значение напряжения, равное 10,5 кВ.

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}$$

Ток короткого замыкания трехфазный определяется по формуле:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{1}{Z_\Sigma} \cdot I_6, \text{ кА} \quad (5.7)$$

где Z_Σ – суммарное сопротивление участка до точки короткого замыкания.

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{1}{0,23} \cdot 5,499 = 23,9 \text{ кА}$$

Ударный ток определяется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I, \text{ кА} \quad (5.8)$$

где $K_{уд}$ –ударный коэффициент, определяемый в зависимости от соотношения X_Σ / R_Σ , $K_{уд} = 1$.

Дальнейший расчет токов короткого замыкания на напряжение 10 кВ сведем в таблицу 28.

Таблица 28 – Расчёт токов КЗ

Точка кз	$Z_\Sigma, \text{о.е.}$	X_Σ / R_Σ	$K_{уд}$	$I_{кз}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{уд}, \text{кА}$
К1	0,23	0,75	0,75	23,94	25,39
К2	1,52	0,75	0,75	3,61	4,68

5.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1 кВ

Для напряжения до 1 кВ при расчете токов короткого замыкания считается, что мощность питающей системы не ограничена и напряжение на стороне высокого напряжения трансформатора является неизменным.

Расчет выполняется в именованных единицах. Сопротивление элементов системы электроснабжения высшего напряжения приводим к низкому напряжению по формулам:

$$R_H = R_B \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ,В}}}{U_{\text{НОМ,Н}}}\right)^2, \text{ Ом} \quad (5.9)$$

$$X_H = X_B \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ,В}}}{U_{\text{НОМ,Н}}}\right)^2, \text{ Ом} \quad (5.10)$$

где R_B , X_B – сопротивления элементов системы электроснабжения высшего напряжения;

R_H , X_H – сопротивления элементов системы электроснабжения высокого напряжения, приведенные к низкому.

Приведем сопротивления к низкому напряжению

$$R_{B\Sigma} = 1,14 \text{ Ом};$$

$$X_{B\Sigma} = 0,86 \text{ Ом};$$

$$R_{H\Sigma} = 1,14 \cdot 0,04^2 = 0,0018 \text{ Ом};$$

$$X_{H\Sigma} = 0,86 \cdot 0,04^2 = 0,0013 \text{ Ом};$$

Сопротивления трансформатора ТМ-630 10/0,4

$$R_{\text{тр}} = 0,0055 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{тр}} = 0,0171 \text{ Ом}$$

Суммарное активное сопротивление, кроме сопротивлений элементов системы электроснабжения высокой стороны трансформатора, должно учитывать переходное сопротивление контактов $R_{\text{доб}}$. Поэтому вводим $R_{\text{доб}} = (15 \div 20) \text{ мОм}$

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{доб}} + R_{H\Sigma} = 0,0055 + 0,015 + 0,0018 = 0,022 \text{ Ом.} \quad (5.11)$$

$$X = X_{\text{тр}} + X_{H\Sigma} = 0,0171 + 0,0013 = 0,0184 \text{ Ом} \quad (5.12)$$

Длина линии до ТП№1 $L=1,003$ км.

Сопротивления линии ТП№1:

$$R_{0,4} = 1,84 \cdot 1,003 = 1,845 \text{ Ом};$$

$$X_{0,4} = 0,07 \cdot 1,003 = 0,07 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(R_{H\Sigma} + R + R_{0,4})^2 + (X_{H\Sigma} + X_{0,4})^2} = \sqrt{(1,867)^2 + (0,088)^2} = 1,87 \text{ Ом} \quad (5.13)$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К1 найдем по формуле:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \text{ кА} \quad (5.14)$$

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,04} = 0,123 \text{ кА}$$

Из соотношения X_{Σ}/R_{Σ} , $K_{уд}=1$. (5.15)

Ударный ток для точки К1:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{кз}^{(3)} = 0,173 \text{ кА} \quad (5.16)$$

Дальнейший расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ сведем в таблицу

Таблица 29 – Расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

№ ТП	$R_{H\Sigma},$ Ом* 10^{-3}	$X_{H\Sigma},$ Ом* 10^{-3}	$R_{0,4},$ Ом	$X_{0,4},$ Ом	R, Ом	Z, Ом	$I^{(3)}_{кз},$ кА	$I_{уд},$ кА
ТП№1	0,0018	0,0013	1,845	0,07	0,022	1,87	0,123	0,173
ТП-10-11	0,0017	0,0013	1,845	0,07	0,0184	1,86	0,124	0,165

6 Анализ качества напряжения сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников

Анализ качества напряжения является важным шагом при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем. Качество напряжения зависит от многих факторов, включая качество источника

питания, условия передачи и распределения электроэнергии, а также характеристик, подключаемых оборудования.

В России одним из основных стандартов для нормирования отклонений напряжения является ГОСТ [17]. Он устанавливает допустимые параметры качества напряжения, включая длительность превышения напряжения, частоту изменения напряжения, диапазон отклонений напряжения и т.д.

Отклонения напряжения согласно ГОСТ не должны выходить в нормальном режиме работы, за пределы $(-10 \div +10) \%$ от $U_{ном}$.

Отклонения напряжения на каждом участке определяем по формуле

$$V = \frac{(U_{ИП} - \Delta U_{участка}) - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

где V – отклонение напряжения на исследуемом участке (%);

$U_{ном}$ – номинальное напряжение (В);

$U_{ИП}$ – напряжение на источнике питания (В);

$\Delta U_{участка}$ – потери напряжения на участке (В).

Величина напряжения на источнике питания за счет встречного регулирования в зависимости от режима работы следующая:

В максимальном режиме $1,05U_{ном}$;

В минимальном режиме $U_{ном}$;

В послеаварийном режиме $(1,05 \div 1,1) U_{ном}$.

Расчет будем производить для самого удаленного электроприемника-потребитель №77;

1. ПС-ТП№1

- Длина линии $L=3,1$ км;
- Активное сопротивление $r_0 = 0,369 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;
- Реактивное сопротивление $x_0 = 0,27 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;
- $\cos\varphi = 0,95$; $\sin\varphi = 0,31$;
- $I_{max} = 19,41$ А;
- $\Delta U_{ПС-ТП} = 32,7$ В.

- $U_1 = 10500 - 32,7 = 10467,3 \text{ В.}$
- 2. Потери напряжения на ТП
 - $\Delta U_{\text{тр}} = 58,6 \text{ В;}$
 - $U_2 = 10467,3 - 58,6 = 10408,7 \text{ В.}$
- 3. Приведём напряжение к низкой стороне
 - $U_3 = 10408,7 * 0,038 = 395,5.$
- 4. ТП№1—опора 1
 - Длина линии $L=0,37 \text{ км;}$
 - Активное сопротивление $r_0 = 0,12 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$
 - Реактивное сопротивление $x_0 = 0,058 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$
 - $\cos\varphi = 0,95; \sin\varphi = 0,31;$
 - $I_{\text{max}} = 253,25 \text{ А;}$
 - $\Delta U_{\text{ТП-1}} = \sqrt{3} * 253,25 * 0,37(0,12 * 0,95 + 0,058 * 0,31) = 21,1 \text{ В.}$
 - $U_4 = 395,5 - 21,1 = 374,4 \text{ В.}$
- 5. Опора 1—потребитель №77
 - Длина линии $L=0,02 \text{ км;}$
 - Активное сопротивление $r_0 = 1,84 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$
 - Реактивное сопротивление $x_0 = 0,07 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$
 - $\cos\varphi = 0,95; \sin\varphi = 0,31;$
 - $I_{\text{max}} = 4,01 \text{ А;}$
 - $\Delta U_{\text{ТП-1}} = \sqrt{3} * 4,01 * 0,02(1,84 * 0,95 + 0,07 * 0,31) = 0,24 \text{ В.}$
 - $U_5 = 374,4 - 0,24 = 374,16 \text{ В.}$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{10467,3-10000}{10000} * 100 = 4,67\%;$$

$$V_2 = \frac{10408,7-10000}{10000} * 100 = 4,08\%;$$

$$V_3 = \frac{395,5-380}{380} * 100 = 4,07\%;$$

$$V_4 = \frac{374,4-380}{380} * 100 = -1,47\%;$$

$$V_5 = \frac{374,16-380}{380} * 100 = -1,5\%;$$

Таблица 30– Максимальный режим

линия	И _{раб} , А	L,км	cosφ	sinφ	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	U, В	U _{тр} , В	V, %
ПС-ТП№1	19,47	3,1	0,95	0,31	0,241	0,27	32,7		4,67
Тр-ор			0,95	0,31	0,241	0,27		58,6	
ТП-опора 1	253,25	0,37	0,95	0,31	0,241	0,27	21,1		-1,47
опора1- потребитель №77	4,01	0,02	0,95	0,31	0,241	0,27	0,24		-1,5

Таблица 31 – Минимальный режим

линия	И _{раб} , А	L,км	cosφ	sinφ	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	U, В	U _{тр} , В	V, %
ПС-ТП№1	7,788	3,1	0,95	0,31	0,241	0,27	13,08		4,86
Тр-ор			0,95	0,31	0,241	0,27		58,6	
ТП-опора 1	101,3	0,37	0,95	0,31	0,241	0,27	8,44		2,06
опора1- потребитель №77	1,604	0,02	0,95	0,31	0,241	0,27	0,096		2,03

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

Был проведен Перевод жилых домов частного сектора на электроотопление в X жилом районе г. Абакана в границах улиц: Дружная-массив Заречное.

Были выполнены расчеты для определения необходимых мощностей трансформаторов и загрузок, разработана электрическая схема, выбрано конструктивное исполнение линий передачи и трансформаторных подстанций, а также выбрано необходимое защитное оборудование. Были произведены расчеты для определения максимальных и минимальных режимов выбранной сети.

Выполнен анализ качества напряжения у характерных электроприёмников, проведённый для различных режимов работы который показал, что отклонение напряжения лежат в допустимых пределах.

Система электроснабжения была обновлена и приведена в соответствие с современными требованиями, такими как повышенная надежность, экономическая эффективность, безопасность для людей и охрана окружающей среды.

В ходе работы были выполнены все поставленные задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Веников, В.А. Расчёт токов короткого замыкания в сети внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий: Москва. – Энергоатомиздат, 2013.- 434 с.
2. Ермилов, А. А. Проектирование промышленных электрических сетей. – 2-е изд., перераб. и доп. А. А. Ермилов, В. С. Иванов, Ю. В. Крупович: Под ред. В. И. Круповича. – М.: Энергия, 2014. – 328 с.
3. Иванов, В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – Москва: Энергоатомиздат, 2014. – 287с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-ое издание. Главы 1.1-1.2, 1.7-1.9, 2.4-2.5, 4.1-4.2, 7.1-7.2, 7.5-7.6, 7.10, раздел 6. – М.: Ростехнадзор, 2010. – 411 с.
5. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.
6. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2008. – 27 с.
7. Солдаткина, Л.А. Электрические системы и сети. М.: Энергия, 1978. - 216 с.
8. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий; дата введ. 01.01.2004. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2014. – 65 с.
9. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. – Москва: Изд-во НЦЭНАС, 2012.- 320с.
10. Фёдоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2т./ под общ. ред. А. А. Фёдорова.– Москва : Энергоатомиздат, 2014. – Т.2. – 592 с.
11. Постановление президиума правительства Республики Хакасия от

11.08.2022 № 147-п. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://r-19.ru/documents/140/134662.html>

12. Информация о проводах изолированных для воздушных линий передач. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/>

13. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов. – 4-е издание, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2012. – 638 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/11/26/andreev-va-releynaya-zaschita-i-avtomatika-sistem.pdf>

14. Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2014. – 252 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/11/26/andreev-va-releynaya-zaschita-i-avtomatika-sistem.pdf>

15. Вакуумные выключатели серии ВВТЭ-М-Р-10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosvacuum.com/magazin/product/vakuumnye-vyklyuchateli-serii-vvte-m-r-10>

16. Автоматические выключатели серии ВА88. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keaz.ru/catalog/>

17. ГОСТ-Р-50571-4-43-2012 Электроустановки низковольтные. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2017/09/12/GOST-R-50571-4-43-2012.pdf>

18. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. т Электрооборудование / Под общ. ред. А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 602 с.

19. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 214 с.

20. Дулесова Н. В. Системы электроснабжения. Курсовое проектирование. [Электронный ресурс]: учебный метод. пособие / сост. Н. В. Дулесова; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,68 МБ). – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2016. – 72 с.

21. Постановление о внесении изменений в государственную программу Республики Хакасия «Охрана окружающей среды, воспроизводство и использование природных ресурсов в Республике Хакасия», утвержденную постановлением Правительства Республики Хакасия от 17.01.2022 № 09. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://r-19.ru/documents/8585/125787.html>

22. Положение об организации проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию, на территории Республики Хакасия от 29.06.2021 № 325. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://r-19.ru/documents/7844/117914.html>

23. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова. - СПб.: Лань, 2011. - 192 с.

24. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для среднего профессионального образования / Е.А. Конюхова. - М.: ИЦ Академия, 2013. – 320 с.

25. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов/ А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – Москва: Энергоатомиздат, 2017. – 368 с

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал ФГАО ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт
«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С.Торопов
подпись
инициалы, фамилия
« 30 » 06 2023г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Перевод жилых домов частного сектора на электроотопление в X жилом районе
г. Абакана в границах улиц: Дружная – массив Заречное

тема

Руководитель Борисова доцент, к.э.н.
подпись, дата должность, ученая степень

Н.В. Дулесова
инициалы, фамилия

Выпускник С.Д. 21.05.2023
подпись, дата

Е.Д. Станьков
инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А. 23.05.2023
подпись, дата

И.А. Кычкова
инициалы, фамилия

Абакан 2023