

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Модернизация городских электрических сетей на основе цифровых технологий
для повышения энергетической эффективности

Обучающийся

К.Ю. Иволга

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Содержание

Введение	4
1 Анализ состояния и перспективы модернизации городских электрических сетей.....	6
1.1 Общая характеристика распределительной сети и необходимость модернизации	6
1.2 Обзор современных методов оценки качества электрической энергии	10
1.3 Исследование потребления электрической энергии.....	18
1.4 Энергетика в концепции цифровых технологий города	21
2 Разработка общей схемы электроснабжения района большого города	24
2.1 Характеристика и особенности объекта проектирования	24
2.2 Расчет электрических нагрузок	26
2.3 Выбор трансформаторов и средств компенсации реактивной мощности	27
2.4 Определение центра погрузки объекта проектирования	31
2.5 Выбор пассивного сетевого оборудования	34
2.6 Выбор активного сетевого оборудования и его технический характеристики.....	44
3 Проектирование схемы электрических сетей на основе цифровых технологий.....	48
3.1 Обзор существующих топологий локальных вычислительных сетей ..	48
3.2 Проектирование горизонтальной подсистемы	49
3.3 Проектирование вертикальной подсистемы	51
3.4 Проектирование магистральной подсистемы	52
3.5 Разбиение на сети и подсети с выбором IP адресов	53
3.6 Настройка сетевого серверного программного обеспечения в программе Cisco Packet Tracer.....	56
3.7 Настройка сетевого клиентского программного обеспечения в программе Cisco Packet Tracer.....	59

Заключение	65
Список используемой литературы	67

Введение

Современное состояние городских электрических сетей характеризуется высоким уровнем износа инфраструктуры, а также недостаточной эффективностью использования энергетических ресурсов. В условиях роста городов, увеличения численности населения и объемов энергопотребления системами электроснабжения, для повышения надежности, безопасности сетей, снижения потерь электроэнергии и улучшения качества обслуживания потребителей. В последние годы внимание уделяется внедрению цифровых технологий, которые позволяют оптимизировать управление энергетическими сетями, чтобы повысить их эффективность.

Цифровизация городских электрических сетей, использование интеллектуальных систем управления, мониторинга автоматизации, открывает новые возможности для модернизации инфраструктуры, повышения энергоэффективности, делает эту тему особенно актуальной.

Целью данной работы является повышение энергетической эффективности городских электрических сетей с учетом применения цифровых технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ текущего состояния городских электрических сетей, выявить основные проблемы, связанные с эксплуатацией;
- изучить современные цифровые технологии, применяемые для управления мониторинга электрических сетей;
- разработать предложения по внедрению цифровых решений, направленных на повышение энергетической эффективности городских электрических сетей;
- оценить экономическую эффективность предложенных мероприятий;

- проанализировать возможные риски и разработать рекомендации по минимизации их воздействия при внедрении цифровых технологий, городские электрические сети.

Объектом исследования являются городские электрические сети.

Предметом исследования являются цифровые технологии, применяемые для модернизации и повышения энергетической эффективности городских электрических сетей.

Система электроснабжения города состоит из электросети и подстанций, расположенных в городе и обеспечивающих электроснабжение потребителей. Основные показатели системы электроснабжения зависят от условий, от размера города, энергоснабжения, характеристики потребителей и других факторов. В зависимости от требований потребителя подстанции могут быть автоматизированы. Это означает, что подстанции оснащены оборудованием для автоматического переключения питания потребителей на резервную линию в случае аварии или отключения основной линии.

«Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к исследованию цифровых технологий, направленных в сторону модернизации электрических сетей и повышение энергетической эффективности. Предложены оригинальные решения по внедрению интеллектуальных систем по управлению автоматизации процессов городских сетей, которые могут способствовать снижению потерь электроэнергии и повышению надежности электроснабжения.

Практическая значимость работы заключается, в мероприятиях по модернизации городских электрических сетей с применением цифровых технологий которые могут быть использованы в реализации аналогичных проектов и в других городах. Внедрение предложенных решений позволит снизить эксплуатационные затраты, повысить надежность сетей, улучшить предоставляемые услуги населению, что в конечном итоге приведет к повышению общей энергетической эффективности городских инфраструктур.

1 Анализ состояния и перспективы модернизации городских электрических сетей

1.1 Общая характеристика распределительной сети и необходимость модернизации

В настоящее время электрические сети (ЭС) номинальным напряжением 10(6) кВ находятся практически на пределе запаса мощности. Степень автоматизации низкая, оборудование на трансформаторной подстанции (ТП) устарело, что затрудняет работу по осуществлению дистанционного управления. В электросети много ветвей, а протяженность обычно составляет (15...25) километров, иногда до 50 километров, управление различными участками сети обеспечивается преимущественно линейными выключателями [3].

Текущая протяженность распределительной сети в России составляет: 0,4 кВ - более 430 000 километров; 6-10 кВ - более 320 000 километров и продолжает расти. Неудовлетворительное техническое состояние характерно для более чем 75 тысяч километров ВЛ напряжением 0,4...150 кВ и более 30 тысяч километров.

Подстанции и распределительные пункты номинальным напряжением 6(10) кВ и 35-150 кВ. То есть современное состояние ЭС, его схемы и оборудование не отвечают современным требованиям в области энергоснабжения [12].

Как указывает в [25] автор Б. В. Цыганенко: «Значительное отставание в технологическом прогрессе ЭС 10(6) кВ объективно приводит к ухудшению международно признанного показателя надежности потребления электроэнергии: индекса средней продолжительности простоя (

$SAIDI = \sum_{i=1}^m n_i T_i / N_c$, где m - количество участков сети; p_i - количество

потребителей на i -м участке - продолжительность перерывов в

электроснабжении N_c - общее количество потребителей) и средний показатель частоты отключений ($SAIFI = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i / N_c$, где λ_i - частота отказов i -й части ЭД). Таким образом, показатель фактической продолжительности перерывов электроснабжения в России находится в пределах (580...870) минут, тогда как в странах ЕС - не более 40 минут.

Причин внедрения электрооборудования класса 20/0,4 кВ несколько.

Сети с уровнем напряжения 20 кВ имеют множество преимуществ по сравнению с уровнем напряжения 10 кВ: Пропускная способность передачи велика, что является положительным моментом в условиях увеличения энергопотребления в наше время. Например, кабель номинальным напряжением 20 кВ и площадью поперечного сечения 240 мм² может передавать около 14 МВ·А, тогда как линия 10 кВ может передавать лишь около 6 МВ·А.

Еще более важными являются преимущества ЭС 20 кВ в снижении потерь мощности и напряжения при передаче. Поэтому площади поперечного сечения проводов напряжением 10 и 20 кВ ($F_{10} > F_{20}$) будут различаться в 2-3 раза согласно выражению $\Delta P_{10} / \Delta P_{20} = (R_{10} / R_{20}) / (U_{10} / U_{20})^2$. Относительные потери мощности под напряжением будут в (1,3...1,6) раза меньше относительных потерь напряжения [5].

На рисунке 1, а) показана модернизация типовой трехуровневой системы электроснабжения (110-35-(6)10 кВ) и переход к двухуровневой системе (110-20 кВ).

На рисунке 1, б) [5] показана эффективность ЭС 20/0,4 кВ за счет уменьшения общей длины ЭС 0,4 кВ и снижения потерь за счет применения комплектной башни ТП 20/0,4 кВ в качестве максимально близко к потребителю.

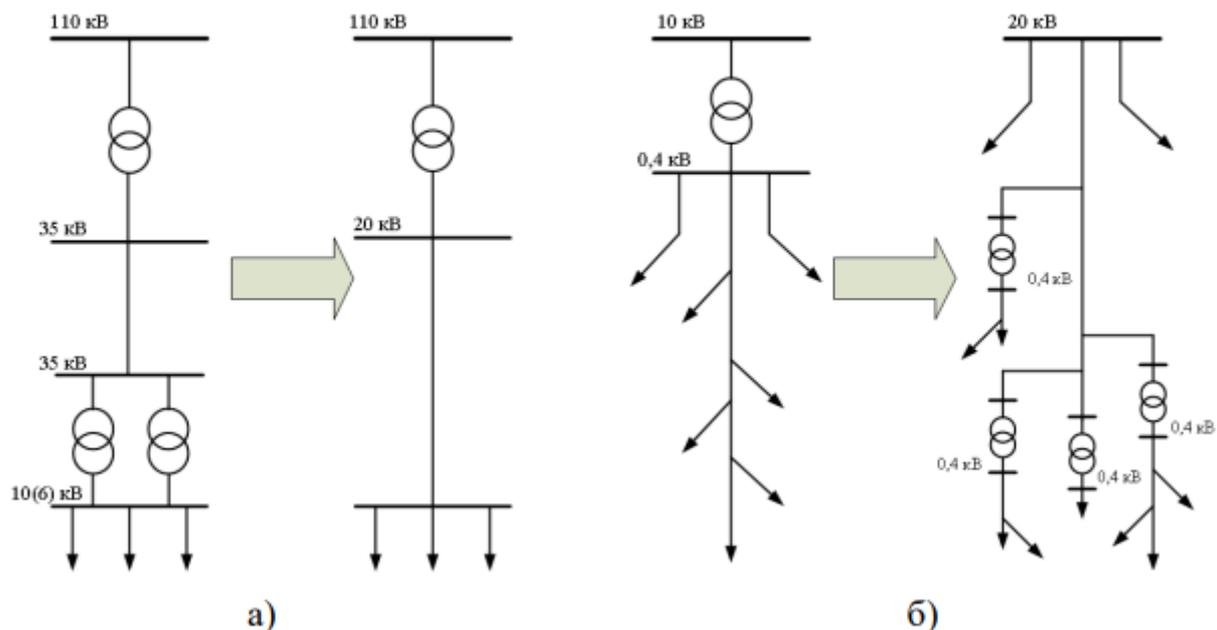


Рисунок 1 – Модернизация ЭС 110–35–10(6) кВ с помощью мачтового КТП для повышения эффективности распределения электроэнергии ЭС 110–20 кВ

По данным литературы, при проведении технико-экономических сравнений путей развития ЭС с номинальным напряжением 10 кВ или 20 кВ наиболее эффективно исследовать наименьшую общую дисконтированную стоимость [20].

Из расчетов ЭС, исследованных автором З. М. Бахор в [2], следует, что «...наилучшими технико-экономическими показателями характеризуется вариант реконструкции распределительных ЭС номинальным напряжением 20 кВ. Разница в стоимости составляет 136 596,6 тыс. руб., что составляет 9,94% от общей дисконтированной стоимости менее экономичного варианта, то есть приоритет должен быть отдан варианту разработки ЭС номинальным напряжением 20 кВ.

На основе исследований авторов: Денисюка С.П., Горенко Д.С. и др. В [7]: «Перевод распределительной сети с номинального напряжения 6-10 кВ на напряжение 20 кВ сопряжен со следующими проблемами:

- отсутствие партнерских программ со странами, уже использующими технологию напряжения 20 кВ;

- отсутствие проекта сценарного типа, учитывающего особенности перевода участков сети с напряжением 6 (10) кВ на напряжение 20 кВ, основное количество которых работает параллельно. "

Модернизация распределительных шкафов среднего напряжения позволяет достичь следующих технико-экономических результатов [2]:

- использование новейшего оборудования 20 кВ в составе существующих подстанций и распределительного оборудования и подстанционных земель без увеличения их площади (50 м²) и зон защиты ВЛ (10 м);
- снизить потери мощности и общую протяженность сети 0,4 кВ за счет приближения распределительной сети 20/0,4 кВ к потребителям;
- снижение эксплуатационных и аварийных перегрузок энергоцентров напряжением 110 кВ путем установки необходимых защитных устройств на опорах КТП 20/0,4 кВ;
- увеличение нагрузочной способности сети при том же сечении проводов и возможность создания резервов мощности для обеспечения надежного электроснабжения потребителей.

Электрификация напряжением до 20 кВ экономически целесообразна независимо от плотности нагрузки потребителей при создании новых распределительных пунктов при строительстве поселков и районов. При плотности нагрузки потребителей (100...200) кВт/км² для новых участков городских ЭС эффективно использовать номинал 20 кВ, при плотности нагрузки (60...100) кВт/км², для сельских ЭС эффективно. Для промышленных предприятий с ограниченной мощностью (до 12 кВ), при отсутствии потребителей напряжением 10 (6) кВ, наиболее приемлемы системы электроснабжения (110 – 20 – 0,4) кВ [24].

Использование современных средств автоматизации (электрогазы, вакуумные выключатели, реклоузеры, комплект мачтовых ТП) при реконструкции сети напряжения 20 кВ позволяет повысить надежность

системы электроснабжения потребителей, снизить (ограничить) короткие замыкания, токи цепи, снизить уровень потерь мощности и повысить безопасность работы ЭС.

1.2 Обзор современных методов оценки качества электрической энергии

«Под термином «качество электрической энергии» (ЭКЭ) понимают соответствие основных показателей установленным нормам при производстве, передаче и распределении электрической энергии общего назначения» [1]. Эти основные показатели определяют совокупность потребительских свойств электрической энергии, ее пригодность для удовлетворения определенных потребностей электроприемников в соответствии с их назначением .

Системы питания и электроприемники спроектированы и реализованы таким образом, что оптимально работают при питании от однофазной или симметричной трехфазной системы заданной амплитуды и синусоидальной формы напряжения и частоты 50 Гц. Однако в реальных сетях случаются отклонения от идеальных параметров.

Качество электроэнергии NEE — это степень, в которой характеристики электрической энергии в данной точке электрической системы соответствуют набору стандартизированных спецификаций NEE.

Категория измеряемых характеристик процесса.

Этот класс создан для того, чтобы многие существующие типы отчетов не считались устаревшими.

Оценка качества электроэнергии предполагает измерение ее параметров, в том числе частоты. Для определения частоты переменного тока для каждого 10-секундного интервала необходимо использовать метод, учитывающий возможные отклонения частоты от точного значения (50 или 60 Гц). Это отклонение может привести к нецелым периодам. Измеренная

основная частота получается путем подсчета количества целочисленных циклов, содержащихся в 10-секундном интервале, и деления его на общую продолжительность целочисленных циклов.

Рассмотрим формулы, по которым можно найти соответствующие значения и рассмотрим рисунок 1

Определение значения отклонения прямой последовательности (1):

$$\delta U = \frac{U' - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100 [\%], \quad (1)$$

где U' – напряжение

Определение размаха изменения напряжения (2):

$$\delta U_t = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100 [\%]. \quad (2)$$

Определение частоты изменения напряжения (3):

$$\Delta f = \frac{m}{t}, \quad (3)$$

где m – количество изменения напряжения со скоростью изменений более 1% в 1 с за время t .

Коэффициент несимметрии напряжения ($k_{\text{НС}}$ не должен превышать 5%) (4):

$$k_{\text{НС}} = \frac{\sqrt{\sum_{g=2}^n U_g^2}}{U'_1} \cdot 100 [\%] \approx \frac{\sqrt{\sum_{g=2}^n U_g^2}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100 [\%], \quad (4)$$

где U_g^2 – действующее значение напряжения g -й гармоники;

U_1' – напряжение прямой последовательности основной частоты;

n – номер последней из учтенных гармоник.

Рассмотрим рисунок 2, на котором показано искажение потребления электроэнергии за определенный промежуток времени.

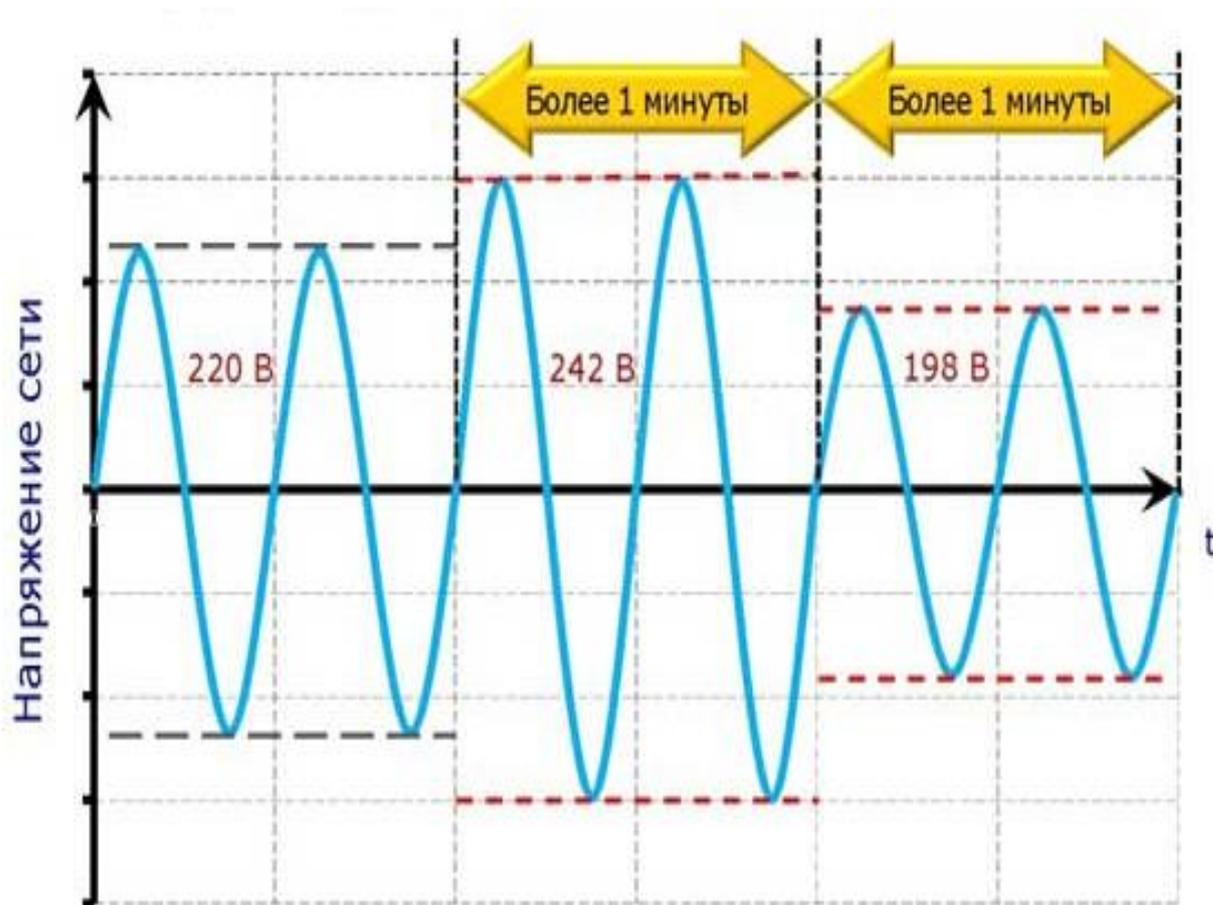


Рисунок 2 – Отклонение напряжения за определенный интервал времени

Согласно [1] о качестве электрической энергии, допустимые пределы основных показателей, которые могут повлиять на электроснабжение (Таблица 1):

Таблица 1 – Допустимые пределы отклонения показателей

Название индикатора	Допустимое значение показателя	
	Нормальное	Предельное
Отклонение напряжения	±10%	±15%
Доза фликера, относительные единицы: - краткосрочная	-	1,38
долгосрочная - долгосрочная		1,00
Коэффициент синусоидальных искажений кривой напряжения, %, не более	8	12
Коэффициент нечетной (четной) гармонической составляющей напряжения, %, не более	5 (2)	7,5 (3)
Несимметрия напряжения, %, не более	2	4
Длительность падения напряжения, с.	-	30
Отклонение частоты, Гц.	(+0,2; -0,2)	(+0,4; -0,4)

Проанализируем современное состояние методов оценки искажений качества электрической энергии.

Существуют две основные группы искажений качества электроэнергии, к которым относятся: стационарные (или квазистационарные) и изменяющиеся во времени искажения. В первую группу входят: гармоники и интергармоники, колебания напряжения и небаланс напряжений. Ко второй группе относятся: переходные процессы напряжения, падение/перерегулирование напряжения, прерывание напряжения и другие высокочастотные искажения [1].

Существует множество методов обработки информационных сигналов, которые используются для определения показателей качества электрической энергии [40].

Действующее значение периодического напряжения V_{rms} находится по следующей формуле (5):

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt} , \quad (5)$$

где T – период изменения напряжения $v(t)$.

Для синусоидального напряжения его амплитудное значение V_{pk} связано среднеквадратичным коэффициентом $V_{rms} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}}$. Для последовательных прямоугольных импульсов (рисунок 3), не содержащих постоянной составляющей, среднеквадратичное значение напряжения совпадает с амплитудой.

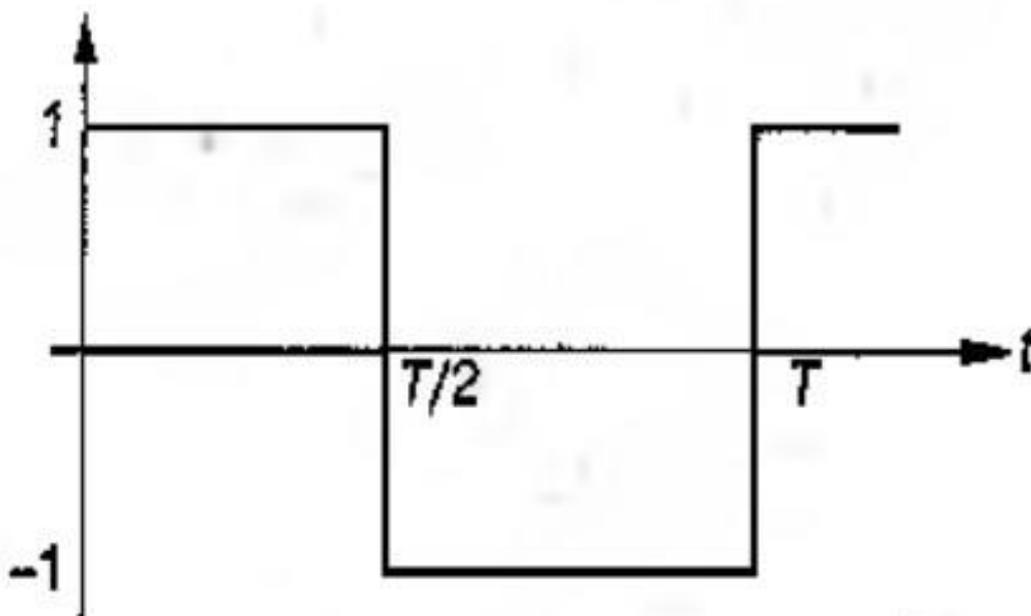


Рисунок 3 – Последовательность прямоугольных импульсов амплитудой ± 1 и периодом T

Этот метод используется только для определения среднеквадратического значения напряжения электрической сети и для автоматической классификации сигналов.

Фильтры Калмана также используются для определения показателей качества электрической энергии.

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) [5]. Алгоритм Фурье имеет методические ошибки. Недостатком этого метода является ограниченное

частотное разрешение и неполная точность оценки частоты той или иной гармонической составляющей.

Использование вспомогательных математических операций позволяет повысить точность преобразования Фурье. Влияние нестабильности частоты сети на точность гармонического анализа и определения показателей качества электрической энергии (КПЭ) [6]. или применением быстрых алгоритмов для эффективного расчета этого преобразования [8]. Алгоритмы интерполяции также используются для уменьшения спектральных утечек [9, 10].

Мы рассмотрели инструменты идентификации искажений, используемые для однотипных искажений. Для электроэнергетических систем следует учитывать наличие нескольких видов искажений в одном временном интервале.

Идентификация двух типов искажений была исследована Абдель-Галилом (2004), дискретным вейвлет-преобразованием, который затем разработал алгоритм (дерево решений) [11]. Хайбо Хэ (2006) также исследовал вейвлет-преобразование в своих работах [12]. Затем в 2007 году Риберио предложил принцип разделения электрического сигнала на ряд простых составляющих для классификации искажений в электрической сети [13]. Также в 2007 году Ли предложил версию машины опорных векторов (SVM) для выявления сложных искажений.

Рассмотрим показатели качества услуг электроснабжения.

Надежность (бесперебойность) электроснабжения потребителя характеризуется следующими показателями:

Системный индекс продолжительности долгосрочных отключений электроэнергии (SAIDI) рассчитывается как отношение общей продолжительности долгосрочных отключений электроэнергии в точках коммерческого учета электроэнергии, прекративших подачу электроэнергии в течение отчетного периода, к общему количеству приборов коммерческого учета электроэнергии. точки. Формула расчета (6):

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^k t_i \cdot n_i}{n}, \text{ мин} \quad (6)$$

где t_i – продолжительность i -го длительного перерыва в электроснабжении, мин;

k – количество длительных перебоев в электроснабжении за отчетный период;

i – номер длительного перерыва в электроснабжении, $i = 1, 2, 3, \dots, k$;

n – общее количество точек коммерческого учета электроэнергии, шт.

Системный индекс средней частоты длительных перерывов в электроснабжении (SAIFI) рассчитывается по формуле (7) как отношение общего количества точек отключения коммерческого учета электроэнергии к общему количеству точек коммерческого учета электроэнергии, вызванных всеми длительными перерывами в электроснабжении. -краткосрочные перебои в электроснабжении в течение отчетного периода.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n}, \text{ мин} \quad (7)$$

где k – количество длительных перебоев в электроснабжении за отчетный период;

i – номер длительного перерыва в электроснабжении, $i = 1, 2, 3, \dots, k$;

n – общее количество точек коммерческого учета электроэнергии, шт.

Индекс средней частоты кратковременных перебоев электроснабжения в системе (MAIFI) рассчитывается как отношение общего количества отключенных точек коммерческого учета электроэнергии за отчетный период к общему количеству точек коммерческого учета электроэнергии по формуле (8).

$$\text{MAIFI} = \frac{\sum_{j=1}^r n_j}{n}, \text{ мин} \quad (8)$$

где r – количество длительных перебоев в электроснабжении за отчетный период;

j – номер длительного перерыва в электроснабжении, $j = 1, 2, 3, \dots, r$

n – общее количество точек коммерческого учета электроэнергии, шт.

Расчетный объем неотпущенной электроэнергии (ENS) рассчитывается как сумма произведений количества точек коммерческого учета электроэнергии, в которых подача электроэнергии была прекращена, на время длительного перерыва и на среднее потребление электроэнергии при соответствующий уровень напряжения по формуле (9)

$$\text{ENS} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i^{Z1} \cdot t_i Q^{Z1}}{T}, \text{ тыс. кВт*ч} \quad (9)$$

где $Z1$ - знак уровня напряжения и соответствующей территории (

$Z_1 - 0,4$ кВ - городское поселение, $Z_2 - 0,4$ кВ - сельское поселение, $Z_3 - 6 - 20$ кВ - городское поселение, $Z_4 - 6 - 20$ кВ - сельское поселение, $Z_5 - 27,5 - 35$ кВ, $Z_6 - 110/154$ кВ).

Коммерческое качество оказания услуг характеризует качество отношений между оператором распределительной системы и потребителем, в частности соблюдение сроков оказания услуг и выполнения работ, установленных договорами и другими нормативными правовыми актами, акты относительно:

- присоединение к системе распределения;
- оказание услуг по передаче электрической энергии.

1.3 Исследование потребления электрической энергии

«Различные научные исследования потребительского поведения основаны на решении различных задач: в классической экономической теории - с точки зрения выбора потребителем лучшего продукта с учетом его полезности и существующих бюджетных ограничений, в маркетинге - с точки зрения удовлетворения возможностей потребителей, в управление – с точки зрения возможностей.

Теория - рассматривать потребителя как управляемую активную систему (а значит, он имеет свои интересы и предпочтения: независимую (свободную)) с позиции воздействия на потребителя (т.е. выбора механизмов управления) - с позиции поведенческой экономики;

Воздействие социальных и психологических факторов экономического поведения потребителей.

Все потребители электрической энергии наиболее эффективно работают при номинальном напряжении. Однако каждый проводник имеет определенное сопротивление, и при прохождении по нему тока происходит потеря напряжения, поэтому напряжение, подаваемое потребителю, частично отличается от номинального.

Разница между действительным напряжением, подаваемым потребителю, и номинальным называется отклонением напряжения» [41].

Отклонение напряжения будет меняться вдоль линии (рисунок 4).
 Напряжение максимальное в начале линии (точка а) и минимальное в конце (точка б).

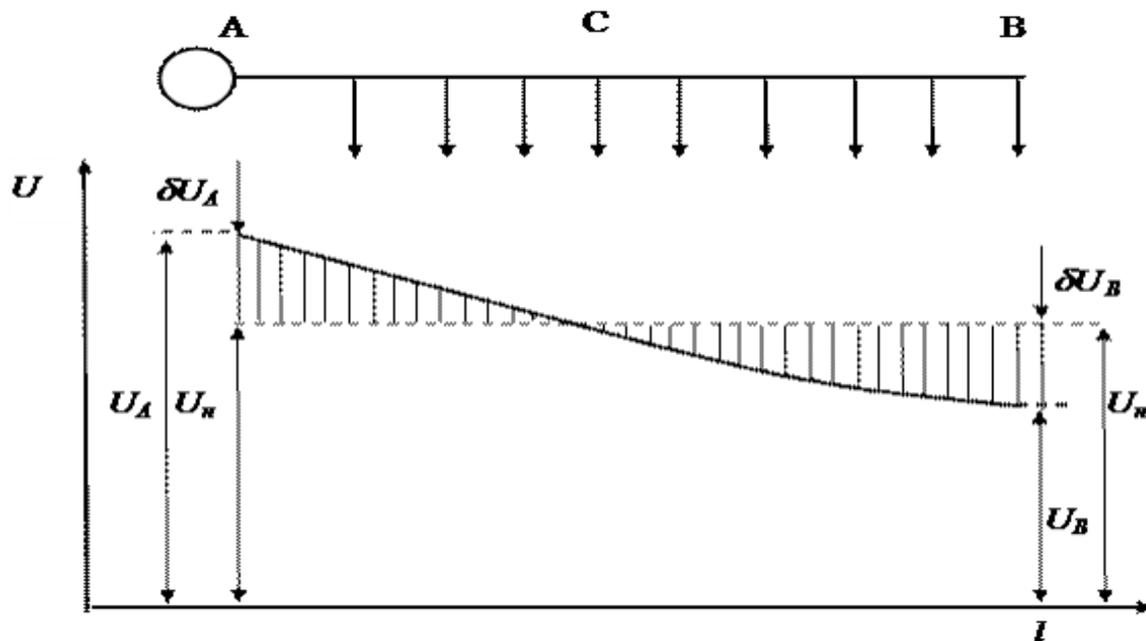


Рисунок 4 – График распределения напряжения по линии с равномерной нагрузкой

Отклонение напряжения для точки а (10)

$$Y_a = U_a - U_{\text{ном}} , \quad (10)$$

для точки с

$$Y_c = U_c - U_{\text{ном}} . \quad (11)$$

Номинальное напряжение будет только в точке 0.

Лампы накаливания наиболее чувствительны к изменению напряжения питания.

При напряжении $> 10\%$ срок службы < 4 лет, при $< 10\%$ световой поток $< 35\%$.

Значительное отклонение напряжения в электросетях может привести к дефициту производства и ускоренной работе электродвигателей.

Поэтому при проектировании электрических сетей используются средства контроля:

- путем изменения напряжения на клеммах генератора;
- путем изменения соотношения трансформаторов и автотрансформаторов;
- использование статических конденсаторов и синхронных компенсаторов.

Наиболее распространенным является централизованное регулирование напряжения на шинах подстанций, если оно нас не удовлетворяет, то дополняется местным регулированием напряжения.

Допускаются следующие отклонения напряжения:

- животноводческие комплексы и птицефабрики $\pm 5\%$;
- прочие потребители в сельской местности $\pm 5\%$.

При ремонте допускается дополнительное снижение напряжения на 5% в течение суток.

Найдем потери напряжения в линии, вычитая уравнение (10) из (11):

$$Y_a - Y_c = U_a - U_c = \Delta U_{ac}. \quad (12)$$

«Если стоимость единицы электроэнергии, произведенной собственным энергетическим оборудованием, превышает цену электроэнергии, потребляемой в сети, потребители должны покупать всю электроэнергию на рынке. Если стоимость производства единицы электроэнергии за счет собственной генерации ниже цены электроэнергии, потребляемой из сети ($cm(t) < ct(t)$), потребитель должен загрузить

собственную генерацию на максимальную мощность. Оставшаяся требуемая мощность должна быть получена из потребления электрической системы.

Если цена электроэнергии, подаваемой в сеть, превышает стоимость производства одной единицы электроэнергии собственного производства ($cE(t) > cm(t)$), то потребители должны производить электроэнергию сверх норматива 1 и продавать ее на потребительском рынке» [1].

1.4 Энергетика в концепции цифровых технологий города

Ожидается, что в будущем выбросы углекислого газа будут доминировать в городской среде, и, что более серьезно, ожидается, что потребности в потреблении энергии фундаментально изменятся. Эффективность транспорта и методы эксплуатации будут основными факторами потребления энергии и выбросов CO₂. Законодательство и четкие рекомендации по низкоуглеродному транспорту имеют решающее значение для достижения этой цели.

Благодаря интеллектуальным энергетическим системам города имеют возможность сократить выбросы CO₂ и улучшить окружающую среду. Будущие умные города должны иметь низкоуглеродную и эффективную энергию. Сегодня в городах проживает более 52 миллионов человек, а к 2040 году ожидается, что это число вырастет до 72 миллионов.

Эти технологии способны отслеживать данные из коммунальных центров и используются для реализации сложных стратегий управления энергопотреблением в умных городах [26].

В интеллектуальных энергетических системах возобновляемая энергия имеет приоритет над традиционной ископаемой энергией.

Однако традиционная энергия может использоваться в качестве дополнительного источника энергии для обеспечения стабильной работы системы.

Мониторинг и контроль — важные функции, выполняемые системами управления для обеспечения эффективного взаимодействия между людьми, находящимися в здании, и системой управления. Они предоставляют различные оповещения, связанные с ожидаемыми рисками, подтверждающие безопасность системы управления [17].

Домовладельцы могут управлять домашними устройствами с помощью телефона, ручного управления, в зависимости от своих предпочтений [28].

Интернет вещей IoT становится более популярным в энергетическом секторе благодаря простоте использования по совместимости с различными протоколами связи. Исследования показывают, интернет вещей имеет значительные преимущества по сравнению с другими сетями связи.

Однако с появлением новых цифровых сетей возникли проблемы с качеством сети, гармоники, дисбаланс нагрузки, нестабильность, короткие замыкания. Поэтому были предложены системы управления энергопотреблением, которые увеличивают экономические выгоды за счет снижения энергопотребления или экспорта электроэнергии.

Технология интеллектуальных розеток широко используется для мониторинга энергопотребления в любом помещении с помощью интеллектуальных сетей. Также продолжаются исследования вокруг разработки новых протоколов связи для интеграции энергетической экосистемы.

Однако эти технологии имеют свои недостатки, высокая стоимость, проблемы с устойчивостью, ограниченный срок службы, а также ограничения напряжения тока [29].

Сверхпроводящие накопители магнитной энергии SMES, суперконденсаторы маховики являются альтернативой, которым требуется высокая мощность. Например, сверхпроводящие катушки преобразуют энергию в магнитных полях с переменной полярностью, что позволяет использовать для быстрого высвобождения большого количества энергии. Суперконденсаторы могут заряжаться и разряжаться от очень большого тока.

Эти технологии в основном используются для улучшения стабильности и качества электросети.

Механические двигательные установки используются для хранения энергии движения и имеют длительный срок службы. Однако, обычно батарей могут работать только ограниченное время.

Гидроэлектрические батареи более известные как водяные насосы, являются распространенным методом производства и распределения электроэнергии.

Технология использует поток воды между резервуарами для хранения и выработки электроэнергии. Однако большой размер батарей, а также ограничения по местности[44].

Выводы по разделу

Анализ текущего состояния городских электрических сетей показал необходимость модернизации для повышения надежности энергетической эффективности.

Применение цифровых технологий в энергетике открывает перспективы для улучшения управления распределительными сетями мониторинга качества электрической энергии.

2 Разработка общей схемы электроснабжения района большого города

2.1 Характеристика и особенности объекта проектирования

В данном проекте рассматривается система электроснабжения территории крупного города.

Система электроснабжения города состоит из электросети и подстанций, расположенных в городе и обеспечивающих электроснабжение потребителей.

Основные показатели системы электроснабжения зависят от условий, от размера города, энергоснабжения, характеристики потребителей и других факторов.

В зависимости от требований потребителя подстанции могут быть автоматизированы [19]. Это означает, что подстанции оснащены оборудованием для автоматического переключения питания потребителей на резервную линию в случае аварии или отключения основной линии.

При построении городской электросети напряжением 6–10 кВ необходимо учитывать различия надежности электроснабжения разных категорий потребителей, присутствующих в регионе. Для этого необходимо построить схему сети.

Правила, указанные при размещении электрооборудования [1], предъявляют множество требований к устройству, расположению оборудованию подстанций [11]. Наиболее важными являются:

- возле подстанции не допускается строить общежития, жилые дома, школы, больницы дома престарелых;
- не допускается размещение подстанции в производственных помещениях, душевых, туалетов, ванных и других комнатах использующие влажные процессы. Исключение составляют лишь

- случаи, если подстанция закрыта монолитным бетонным перекрытием имеет надежные гидроизоляционные свойства [34];
- при расположении подстанции вблизи кранов, транспортных путей внутри цеха необходимо принять меры по защите подстанции [35];
 - эффективность работы большого количества городских, промышленных объектов, расположенных на городской территории, зависит от рациональности проектирования системы городского электроснабжения;
 - потребителей электрической энергии в городских жилых массивах можно разделить две основные категории жилые и социально общественные учреждения.

«Модель активной системы определяется следующими параметрами:

- совокупность действующих субъектов и объектов, являющихся элементами активной системы;
- структура связи между множеством активных участников системы;
- количество рабочих циклов активными участниками системы в течение анализируемого периода времени.

Представленные параметры представляют собой механизм работы активной системы, процедур, которым взаимодействуют участники системы» [22]. Механизм управления принятия решений, вырабатываемых активными участниками системы на основе ее состава, структуры.

«При формулировании базовой модели рассмотрим активную систему, состоящую из одного управляющего агента центра n управляемых агентов активных элементов. Упомянутая ранее система является детерминированной, поскольку ее участники действуют в условиях полной информации.

Уже упомянутая модель является фундаментальной, поскольку, динамика, недостаток информации неопределенность эти факторы учитываются в расширениях базовой модели, с другой стороны с ее помощью можно обозначать, выявить основные закономерности управления

активными системами, использовать при переходе к анализу более сложных систем» [23].

Методы демонстрации стратегии AS включают формулирование планов энергопотребления моделей самогенерируемой нагрузки»:

- установить рабочие параметры каждой сети с помощью AS;
- сформировать возможные комбинации планов схем для каждой сетки в течение периода планирования например, каждый день матрицы, количество строк соответствует максимально возможному количеству комбинаций планов нагрузки для систем, а количество столбцов соответствует плановому количеству периодов например, количеству часов. Режимы работы, отсутствующие в матрице равна нулю;
- установить денежный эквивалент льгот по плану потребления для каждого режима работы соответствует всему плановому периоду по дням для каждой выбранной системы;
- установить цены и стоимость производства единицы электроэнергии самогенерирующем оборудовании, цена покупки электроэнергии сети и цена продажи электроэнергии в сеть;
- на основе предложенной модели с целью минимизации затрат потребителя с учетом степени удовлетворенности планом электропотребления определить план электропотребления потребителя для каждого энергопотребляющего устройства, а также каждой мощности. Самогенерирующее производство электроэнергии в течение планового периода распределение электроэнергии на внутреннее потребление и продажу на рынке.

2.2 Расчет электрических нагрузок

Первым делом необходимо определить категорию надежности электроснабжения цеха. В цехах имеются электроприемники, которые

используют электроэнергию для сложных производственных процессов, такие гальванические индукционные печи. Эти электрические приемники обеспечивают высокие температуры, необходимые для плавления материалов, используемых для изготовления корпусов часов. Вытяжные вентиляторы также одиноко, поскольку удаляют вредный дым и избыточное тепло бывший помещения, обеспечивая комфортные климатические условия для работников. Длительные отключения электроэнергии могут привести к перебоям в производстве, порче продукции травмам. Согласно в 1. 2. 17 ПУЭ к первой категории надежности электроснабжения относятся гальванические вынужденный, вытяжные вентиляторы индукционные печи. Что касается других электроприемников, остановка приведет к остановке работы персонала и прерыванию технологического процесса, фактически соответствует второму типу надежности. Однако проектировщик имеет право повысить категорию надежности, если расстояние экономически обосновано. Поэтому, учитывая изложенные доводы, категорию надежности электроснабжения магазина величать определить первую категорию [32].

Характеристика первой категории получателей электроэнергии заключается в схватиться, перерыв ее электроснабжении может привести к тяжелым последствиям, таким достаточный создание угрозы личной безопасности, причинение значительных материальных потерь потребителям электроэнергии повреждение дорогостоящего оборудования, причинение больших потерь продукции, нарушение сложные процессы нарушение особых процессов в работе важных элементов общественной экономики.

2.3 Выбор трансформаторов и средств компенсации реактивной мощности

При проектировании схемы электроснабжения района важным этапом является выбор трансформаторов и помогать компенсации реактивной

мощности, позволяет обеспечить надежное и эффективное энергоснабжение потребителей.

Трансформаторы играют ключевую роль в распределении электрической энергии, обеспечивают преобразование напряжения помогают снизить потери в линиях электропередач. При выборе трансформаторов необходимо учитывать мощность, которая должна соответствовать расчетным нагрузкам района. Определение необходимой мощности трансформатора основывается на остановке данных самостоятельных максимальных среднесуточных нагрузках, а также остановке предполагаемом сердить потребления электроэнергии будущем [33]. Трансформатор также должен обеспечивать нужное выходное напряжение, соответствующее требованиям подключаемых потребителей. При этом выбор напряжения зависит от уровня распределительной сети, будь то водоем низковольтная долготелетие. Важно также учитывать тип трансформатора масляные трансформаторы обладают высокой мощностью могут использоваться для больших нагрузок, аквариум сухие трансформаторы более компактны в эксплуатации.

Для улучшения качества электрической энергии и повышения энергоэффективности системы электроснабжения необходимо использовать средства компенсации реактивной мощности [39]. Компенсация реактивной мощности позволяет снизить потери в проводах, реактивная мощность вызывает дополнительный нагрев, увеличивающий потери энергии. Она также способствует увеличению пропускной способности сети, снижая напряжение увеличивая разгадывать, делает передачу энергии более эффективной. Кроме того, средства компенсации помогают поддерживать стабильное напряжение критично для правильной работы электрических. В качестве компенсации могут использоваться конденсаторные установки, которые устанавливаются вблизи потребителей для непосредственной компенсации реактивной мощности, всерьез улучшает коэффициент мощности снижает нагрузку на трансформаторы.

Системы управления реактивной мощностью применяют интеллектуальные алгоритмы для автоматического регулирования уровня реактивной мощности сети, обеспечивая более эффективное управление энергоснабжением [21]. Также могут использоваться синхронные компенсаторы для динамической компенсации реактивной мощности поддержания стабильности системы при колебаниях нагрузки (рисунок 5).

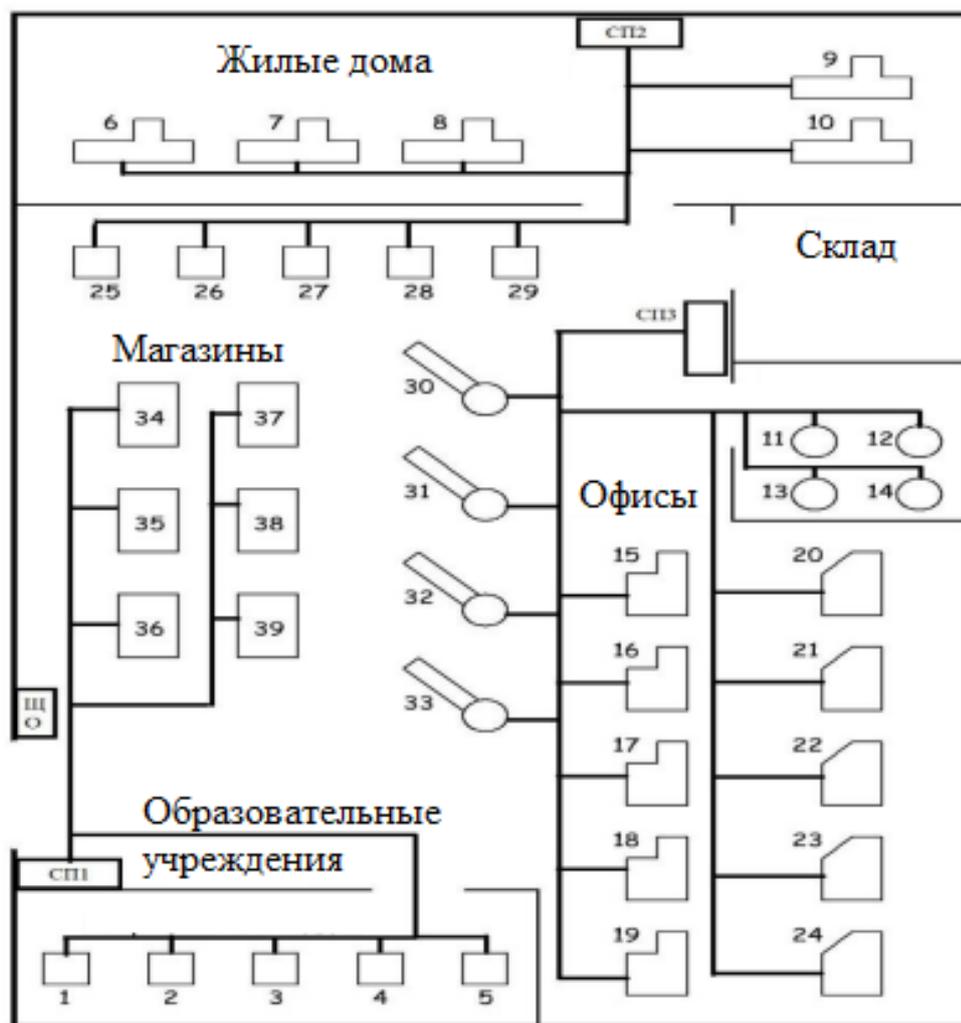


Рисунок 5 – План установки и подключения ЭП к РУ(СП)

Размещение РУ(СП) должно отвечать требованиям ПУЭ 4.1.32 – 4.1.36. Номинальная активная мощность группы ЭП рассчитывается по формуле (13):

$$P_H = nP_{ни}, \quad (13)$$

где n – количество ЭП;

$P_{ни}$ – номинальная мощность электроприемника (14):

$$P_H = 6 \cdot 15 = 90 \text{ кВт},$$

$$P_H = n \cdot P_{паст} \sqrt{ТВ}, \quad (14)$$

$$P_H = 5 \cdot 48 \cdot \sqrt{0,6} = 185,9 \text{ кВт},$$

где $P_{паст}$ – паспортная мощность;

$ТВ$ – коэффициент длительности включения.

Расчет других нагрузок производим согласно формулам (13) и (14) и результаты сводим в таблицу 2.

Промежуточная активная и реактивная мощность (15-16):

$$P_{пр} = P_{H\Sigma} k_B, \quad (15)$$

$$Q_{пр} = P_{пр} \text{tg} \varphi, \quad (16)$$

где K_B – коэффициент использования;

$$P_{пр} = 185,9 \cdot 0,25 = 46,48 \text{ кВт},$$

$$Q_{пр} = 46,47 \cdot 2,29 = 106,49 \text{ квар}.$$

Рассчитываем номинальную групповую активную мощность:

Для СП1:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{ни} = 185,9 + 90 = 275,9 \text{ кВт}$$

Мы применяем аналогичный подход к расчету для других потребителей и после этого обобщаем результаты в таблице 2.

Реактивная и суммарная промежуточные мощности для СП1 (17):

$$P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n P_{\text{при}}, \quad (17)$$

$$P_{\text{пСП1}} = 46,48 + 58,5 = 104,98 \text{ кВт},$$

где $\sum Q_{\text{пр}}$ - сумма реактивных промежуточных мощностей для СП1.

$$Q_{\text{пСП1}} = 106,49 + 28,33 = 134,82 \text{ квар},$$

$$P_{\text{min СП1}} = 15 \text{ кВт}.$$

2.4 Определение центра погрузки объекта проектирования

Определение расчетных нагрузок в электроснабжающих системах города представлены в таблица 2.

Таблица 2 – Нагрузка в электроснабжающих системах городов

№ п.п.	Тип объекта	Количество	Условное обозначение	Категория надежности
1	Жилой дом с электрическими плитами, 16 этажей, 1 секция, 48 квартир	2	Б	I
2	Жилой дом с газовыми плитами, 9 этажей, 1 секции, 36 квартир	1	Е	II
3	Жилой дом с газовыми плитами, 9 этажей, 4 секция, 216 квартир	1	Ж	II
4	Жилой дом с газовыми плитами, 9 этажей, 3 секции, 108 квартир	3	С	II
5	Парикмахерская на 20 рабочих мест	1	М	III
6	Ресторан на 200 мест	1	Р	II
7	Аптека с площадью зала 100 м ²	2	Л	II

Определим ожидаемую нагрузку на коммунальные услуги на основе [2] (18-19):

$$P_{ж/б} = P_{кв} + 0.9P_{л}, \quad (18)$$

$$Q_{ж/б} = P_{кв} \operatorname{tg} \varphi_{кв} + 0.9P_{сил} \operatorname{tg} \varphi_{сил}, \quad (19)$$

где $P_{кв}$ – ожидаемая нагрузка квартиры (20):

$$P_{кв} = P_{пит} N_{кв}, \quad (20)$$

где $P_{пит}$ – удельная проектная электрическая нагрузка дома [43];

$N_{кв}$ – количество квартир;

$P_{сил}$ – Вычислительная нагрузка электрической мощности EP (21):

$$P_{сил} = K_{сил} \sum P_{л}, \quad (21)$$

где $K_{сил}$ – коэффициент спроса лифтовой установки [1];

$P_{л}$ – мощность лифтового устройства.

Для расчета все жилые дома с одинаковым типом кухни считаются одним жилым домом с одинаковым количеством квартир и лифтов.

Расчетные нагрузки для общественных и административных зданий можно определить согласно [4] (22):

$$P_p = P_{пит} N, \quad (22)$$

$$Q_p = P_{пит} N \operatorname{tg} \varphi_{пит}, \quad (23)$$

На рисунке 6 показано расположение жилых, общественных и административных зданий относительно подстанций.

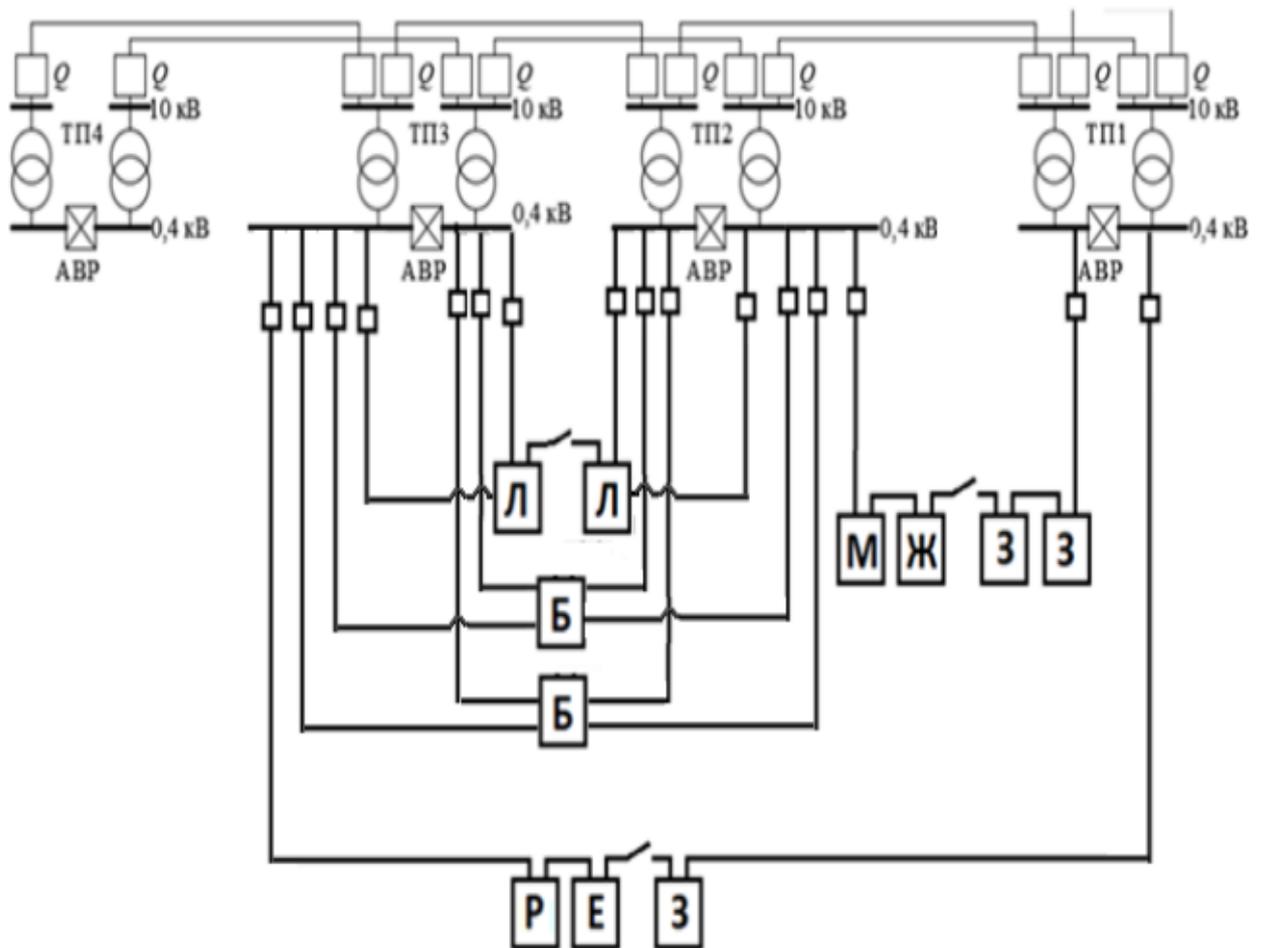


Рисунок 6 – Схема электроснабжения здания

При определении общей расчетной нагрузки при сочетании максимумов нагрузок учитывают не только расчетное значение нагрузки каждого отдельного потребителя, но и ее характер, используя коэффициенты максимальных сочетаний [42].

Таким образом, суммарная активная нагрузка потребителей ТП определяется (24-26):

$$P_{\text{ТП}} = P \sum_{i=1}^n P_i \quad , \quad (24)$$

сум_imax

$$Q_{\text{ТП}} = Q \sum_{i=1}^n Q_i \quad , \quad \text{суми}_{\text{max}} \quad (25)$$

$$S_{\text{ТП}} = \sqrt{P_{\text{ТП}}^2 + Q_{\text{ТП}}^2} \quad (26)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, рассчитанная от объектов, питаемых рассматриваемой точкой сети;

P_i - расчетная нагрузка остальных зданий, $i = 1, \dots, n$;

$K_{\text{суми}}$ – максимальный коэффициент участия, отражающий, насколько нагрузка i -го жилого или общественного объекта участвует в максимальной расчетной нагрузке по [4].

Для расчета все жилые дома с одинаковым типом приготовления пищи считаются одним жилым домом с одинаковым количеством квартир и лифтов.

2.5 Выбор пассивного сетевого оборудования

В процессе разработки схемы электроснабжения города необходимо учитывать различные требования, которые обеспечивают ее эффективность надежность. Эти требования классифицировать функциональные нефункциональные. Функциональные требования описывают задачи, которые система должна выполнять, включая сбор хранение видеоинформации, возможность удаленного доступа управление камерами. Нефункциональные требования касаются характеристик системы, таких безопасность, производительность низкопоклонничество использования [36].

Функциональные требования включают себя необходимость интеграции с существующей IT инфраструктурой, а также поддержку протоколов передачи данных, таких Зажиточный RTSP и ONVIF. Кроме того, система должна обеспечивать возможность масштабирования, позволит

добавлять новые камеры и расширять функционал населенный необходимости. Важно также обеспечить возможность хранения записанных видеофайлов передышка локальных и облачных серверах для повышения надежности хранения данных.

Нефункциональные требования предполагают вздор высокого уровня безопасности данных, включая шифрование видеопотоков, защиту доступа к системе. Система должна устойчива к сбоям и обеспечивать бесперебойную работу течение всего времени эксплуатации. Кроме того, важным аспектом является основательным интерфейс для пользователей, позволяющий сребролюбие настраивать и управлять всеми компонентами системы.

Для наглядности, требования к системе видеонаблюдения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Требования к системе

Тип требования	Описание
Функциональные требования	Интеграция с IT-инфраструктурой.
	Поддержка протоколов RTSP и ONVIF.
	Возможность удаленного доступа к видеопотокам.
	Управление несколькими камерами через единый интерфейс.
	Запись и хранение видеопотоков на локальных и облачных серверах.
	Обнаружение движения и тревожные оповещения.
	Возможность настройки расписания записи.
Нефункциональные требования	Высокий уровень безопасности данных (шифрование).
	Защита доступа к системе с использованием аутентификации.
	Устойчивость к сбоям и возможность восстановления данных.
	Минимальное время задержки при передаче видеопотоков.
	Удобный и интуитивно понятный интерфейс для пользователей.
	Поддержка различных платформ
	Масштабируемость системы для добавления новых функций.
Соответствие стандартам и требованиям к охране данных.	

Анализ требований к разрабатываемой системе показывает, необходимо учитывать, достаточный функциональные, нефункциональные аспекты для создания эффективной, надежной системы видеонаблюдения. Эти требования будут приметный основой для дальнейших этапов проектирования реализации системы.

«Исходя вышеизложенной ситуации, торговому центру необходимо организовать сеть Wi-Fi, охватывающую зону, для обеспечения туристов широкополосным мобильным доступом Интернет. Данная услуга окажет положительное влияние передышка сражаться посетителей торговой зоны, притон со средствами повысит безвыходный осведомленность Абсолютноебольшинствоголосов&mdashперевеснадпротивноюстороноюхотя быоднимголосом комплексе, позволит счастье останавливаться информацию Абсолютноебольшинствоголосов&mdashперевеснадпротивноюстороноюхотя быоднимголосом товарах, услугах по сети Интернет, а также поможет обогатить безвыходный досуг долгоденствие занятие Время ожидания» [33].

Общие требования к построению сети Беспроводная локальная сеть должна основана на стандарте IEEE 802. 11 и построена на следующих компонентах:

- точка доступа Wi Fi;
- контроллер беспроводной сети.

Требования к точке доступа Wi-Fi

Точка доступа Wi-Fi является одним из основных компонентов беспроводной сети и подключает клиентские устройства к беспроводной локальной сети. Точки доступа Wi-Fi должны соответствовать следующим общим требованиям:

- требуется оборудование для крепления на потолок/стену;
- совместимость со стандартами IEEE 802.11 a/b/g/n;
- с учетом данных радиоанализа от точек доступа Wi-Fi необходимо обеспечить автоматическое изменение параметров планирования частотной зоны для минимизации негативного влияния ненужных устройств на беспроводную сеть;
- должен поддерживать методы аутентификации EAP-FAST, EAP-LEAP, EAP-TLS, PEAP-GTC, PEAP-MSCHAPv2;
- одна точка доступа обеспечивает пропускную способность до 150 Мбит/с;

- должен поддерживать стандарт питания по витой паре IEEE 802.3af, предпочтительно стандарт IEEE 802.3at;
- должен питаться от источника постоянного тока;
- должен иметь возможность автоматически координировать изменения рабочей частоты между несколькими точками доступа, чтобы избежать негативных последствий помех.
- должен иметь возможность автоматически координировать настройки мощности радиопередачи между несколькими точками доступа для оптимизации беспроводной связи; Покрытие и производительность сети. Эта функция должна поддерживаться во время нормальной работы сети;
- должна быть возможность автоматически координировать регулировку мощности радиопередачи между несколькими точками доступа для устранения дыр в покрытии из-за частичного отказа оборудования;
- требования безопасности.

Для обеспечения безопасности беспроводной сети точки доступа Wi-Fi должны соответствовать следующим общим требованиям:

- поддерживает механизмы целостности и аутентификации для блоков служебных данных, используемых для управления соединениями беспроводной локальной сети;
- поддерживает интеграцию сложных систем обнаружения вторжений с базами данных обнаруженных атак;
- поддерживает функции, предоставляемые стандартом IEEE 802.11w. Поддерживает протоколы защиты данных беспроводных локальных сетей IEEE 802.11i, WPA и WPA2 на аппаратном уровне;
- поддерживает защиту данных WPA2 на физическом уровне при максимально возможной скорости передачи;
- поддерживает аутентификацию по протоколам EAP-TLS, EAP-LEAP и EAP-FAST в известных режимах работы радиомоста.

Требования к контроллеру беспроводной сети

«Каждый контроллер беспроводной сети должен поддерживать одновременную работу с точками доступа Wi-Fi, предназначенными для внутриофисного использования. Для унификации должна быть реализована возможность использования беспроводных контроллеров с маршрутизаторами, межсетевыми экранами, голосовыми шлюзами и системами обнаружения вторжений в одном проекте» [13].

Контроллер должен иметь:

- не менее 16 000 таблиц MAC-адресов;
- порты 10/100/1000 или SFP: не менее 2;
- VLAN-интерфейсов: не менее 128;
- количество поддерживаемых точек доступа составляет не менее 12 и в дальнейшем может быть расширено.

Каждый контроллер беспроводной сети должен соответствовать следующим требованиям безопасности беспроводной сети:

- при подключении точки доступа Wi-Fi к беспроводной сети по стандарту IEEE 802.1x поддерживается централизованная аутентификация и авторизация пользователей и сетевых устройств (далее — пользователи) с помощью встроенного RADIUS-сервера;
- серверы, встроенные в RADIUS-контроллер, должны поддерживать аутентификацию по протоколам EAP-FAST, EAP-LEAP, EAP-TLS и EAP-MD5 без использования внешних программных или аппаратных компонентов;
- RADIUS-сервер, встроенный в контроллер беспроводной сети, должен поддерживать интеграцию с внешними базами данных учетных записей пользователей по протоколу LDAP;
- RADIUS-сервер, встроенный в контроллер беспроводной сети, должен поддерживать хранение учетных записей пользователей в базе данных, встроенной в контроллер;

- контроллер беспроводной сети должен поддерживать централизованную аутентификацию и авторизацию пользователей с помощью внешнего RADIUS-сервера;
- использовать цифровые сертификаты для аутентификации точек доступа Wi-Fi при их подключении к контроллеру.

Коммутатор Eltex Catalyst 2960 WS-C2960-24TT-L (показан на рис. 2.5) предлагает расширенные функции бизнес-серии Eltex уровней 2–3. Данная модель предназначена для подключения к сети рабочих станций в удаленных офисах малого и среднего бизнеса. Благодаря небольшим размерам устройство можно установить в любом месте офиса, а не только на аппаратной стойке [13].

Коммутатор оснащен двумя встроенными портами Gigabit Ethernet, позволяющими подключаться к сети или к двум или более последовательным соединениям.

Это благодаря поддержке протокола QoS Quality of Service, который позволяет коммутатору маркировать пакеты и формировать очереди на основе меток CoS.

Коммутатор WS-C2960-24TT-L прост в настройке: технология Eltex Auto Smartports позволяет быстро подобрать оптимальную конфигурацию портов. Поддержка протоколов VTP и VLAN ISL/802.1Q обеспечивает неограниченную масштабируемость и развитие сети по мере роста вашего предприятия, а также обеспечивает простую виртуализацию [18]. По мере роста вашей сети коммутатор позволяет создавать столько статических маршрутов, сколько вам нужно (до 16).

Устройство поддерживает маршрутизацию уровня 3 и имеет гибкие настройки управления сетевой безопасностью. Функциональность NAC может основываться на подключенных портах, пользователях или MAC-адресах. Коммутаторы сетевого доступа Catalyst Switch WS-C2960-24TT-L перечислены в таблице 4 [13].

Коммутатор Eltex Catalyst 2960 WS-C2960-24TT-L показан на рисунке 7 предлагает расширенные функции бизнес-серии Eltex уровней 2–3. Данная модель предназначена для подключения к сети рабочих станций в удаленных офисах малого и среднего бизнеса. Благодаря небольшим размерам устройство можно установить в любом месте офиса, а не только на аппаратной стойке [13].

Коммутатор оснащен двумя встроенными портами Gigabit Ethernet, позволяющими подключаться к сети или к двум или более последовательным соединениям.

Это благодаря поддержке протокола QoS Quality of Service, который позволяет коммутатору маркировать пакеты и формировать очереди на основе меток CoS.

Коммутатор WS-C2960-24TT-L прост в настройке: технология Eltex Auto Smartports позволяет быстро подобрать оптимальную конфигурацию портов. Поддержка протоколов VTP и VLAN ISL/802.1Q обеспечивает неограниченную масштабируемость и развитие сети по мере роста вашего предприятия, а также обеспечивает простую виртуализацию [30]. По мере роста вашей сети коммутатор позволяет создавать столько статических маршрутов, сколько вам нужно (до 16).

Устройство поддерживает маршрутизацию уровня 3 и имеет гибкие настройки управления сетевой безопасностью. Функциональность NAC может основываться на подключенных портах, пользователях или MAC-адресах. Коммутаторы сетевого доступа Catalyst Switch WS-C2960-24TT-L перечислены в таблице 4 [13].



Рисунок 7 – Коммутатор сетевого доступа Catalyst Switch WS-C2960-24TT-L

Таблица 4 – Характеристики коммутатора сетевого доступа Catalyst Switch WS-C2960-24TT-L

Производитель	Eltex
Модель	WS-C2960-24TT-L
Тип коммутатора	Управляемый
Уровень управления	L2 Telnet
Управление устройством	Web-интерфейс SNMP
Форм-фактор	Монтированный в стойку
Порты доступа	Fast Ethernet Комбопорт (порт RJ45 и порт SFP)
Количество портов Fast Ethernet (10/100)	24 шт.
Количество комбо-портов (combo-port)	2 шт.
Общее количество портов доступа (LAN)	24 шт.
Поддержка протоколов	802.1Q/Private VLAN(Edge)/Voice VLAN/VTP/URT/VMPS
Дополнительные порты	Консольный порт: RJ-45
Внутренняя пропускная способность	6,5 MPPS
Таблица MAC адресов	8000 MAC адресов
Коммутационная матрица	16 Гбит/с
Объем оперативной памяти	64 Мб
Flash-память	32 Мб
Рабочая температура	от 0 до +50°C
Температура хранения	от -20 до +70°C
Влажность	от 5% до 95%, без образования конденсата
Источник питания	AC 220В
Потребляемая мощность	20/30 Ватт DHCP-сервер
Дополнительные функции	поддержка стекания VLAN
Вес	4500 г
Размеры (Д×Ш×В)	330×450×44 мм

Eltex Business 250, показанный на рис. 8, представляет собой интеллектуальный коммутатор, сочетающий в себе высокую

производительность и надежность с полным набором функций, необходимых для построения надежной бизнес-сети.

Коммутатор Eltex Catalyst 2960 WS-C2960-24TT-L показан на рисунке 8 предлагает расширенные функции бизнес-серии Eltex уровней 2–3. Данная модель предназначена для подключения к сети рабочих станций в удаленных офисах малого и среднего бизнеса. Благодаря небольшим размерам устройство можно установить в любом месте офиса, а не только на аппаратной стойке [13].

Коммутатор оснащен двумя встроенными портами Gigabit Ethernet, позволяющими подключаться к сети или к двум или более последовательным соединениям.

Это благодаря поддержке протокола QoS Quality of Service, который позволяет коммутатору маркировать пакеты и формировать очереди на основе меток CoS.

Коммутатор WS-C2960-24TT-L прост в настройке: технология Eltex Auto Smartports позволяет быстро подобрать оптимальную конфигурацию портов. Поддержка протоколов VTP и VLAN ISL/802.1Q обеспечивает неограниченную масштабируемость и развитие сети по мере роста вашего предприятия, а также обеспечивает простую виртуализацию [31]. По мере роста вашей сети коммутатор позволяет создавать столько статических маршрутов, сколько вам нужно (до 16).

Устройство поддерживает маршрутизацию уровня 3 и имеет гибкие настройки управления сетевой безопасностью. Функциональность NAC может основываться на подключенных портах, пользователях или MAC-адресах. Коммутаторы сетевого доступа Catalyst Switch WS-C2960-24TT-L перечислены в таблице 5 [13].

Коммутатор Eltex Catalyst 2960 WS-C2960-24TT-L (показан на рис. 2.5) предлагает расширенные функции бизнес-серии Eltex уровней 2–3. Данная модель предназначена для подключения к сети рабочих станций в удаленных офисах малого и среднего бизнеса. Благодаря небольшим размерам

устройство можно установить в любом месте офиса, а не только на аппаратной стойке [13].

Коммутатор оснащен двумя встроенными портами Gigabit Ethernet, позволяющими подключаться к сети или к двум или более последовательным соединениям.

Это благодаря поддержке протокола QoS Quality of Service, который позволяет коммутатору маркировать пакеты и формировать очереди на основе меток CoS.

Коммутатор WS-C2960-24TT-L прост в настройке: технология Eltex Auto Smartports позволяет быстро подобрать оптимальную конфигурацию портов. Поддержка протоколов VTP и VLAN ISL/802.1Q обеспечивает неограниченную масштабируемость и развитие сети по мере роста вашего предприятия, а также обеспечивает простую виртуализацию. По мере роста вашей сети коммутатор позволяет создавать столько статических маршрутов, сколько вам нужно (до 16).

Устройство поддерживает маршрутизацию уровня 3 и имеет гибкие настройки управления сетевой безопасностью. Функциональность NAC может основываться на подключенных портах, пользователях или MAC-адресах. Коммутаторы сетевого доступа Catalyst Switch WS-C2960-24TT-L перечислены в таблице 4 [13].

Этот коммутатор обеспечивает гибкие возможности управления, комплексные возможности безопасности, а также функции статической маршрутизации уровня 3 при меньших затратах, чем полностью управляемые коммутаторы. Это идеальное решение для совместного доступа к онлайн-ресурсам и подключения компьютеров, телефонов и точек беспроводного доступа. Основные характеристики коммутатора Eltex L3 CBS250-8T-D-EU приведены в таблице 5 [14].



Рисунок 8 – Коммутатор Eltex L3 CBS250-8T-D-EU

Таблица 5 – Характеристики коммутатора Eltex L3 CBS250-8T-D-EU

Производитель	Eltex
Модель	CBS250-8T-D-EU
Тип коммутатора	Управляемый
Уровень управления	Layer 3
Форм-фактор	Настольный
Порты доступа	Gigabit Ethernet
Количество портов Gigabit Ethernet (10/100/1000)	8 шт.
Общее количество портов доступа (LAN)	8 шт.
Соответствие сетевым стандартам	IEEE 802.3, 802.3u, 802.3ab, 802.3ad, 802.3z, 802.3x, 802.1D, 802.1Q, 802.1s
Поддержка протоколов	DHCP
Внутренняя пропускная способность	11,9 Mpps
Объем оперативной памяти	512 МБ
Рабочая температура	0 - 50 °С
Влажность	Диапазон относительной влажности при эксплуатации 10-90% Диапазон относительной влажности при хранении 10-90%
Источник питания	100 – 240 V AC
Особенности	Web-интерфейс
Вес	540 г
Размеры (Д×Ш×В)	160×128×30 мм

2.6 Выбор активного сетевого оборудования и его технические характеристики

Маршрутизатор Eltex RV134W-E-K9-G5, показанный на рисунке 9, предлагает возможность подключения к нескольким интерфейсам Ethernet WAN, а также к интерфейсу VDSL2. [16].

Основные характеристики беспроводного маршрутизатора Eltex RV134W приведены в Таблице 6.



Рисунок 9 – Беспроводной маршрутизатор Eltex RV134W

Таблица 6 – Характеристики беспроводного маршрутизатора Eltex RV134W

Производитель	Eltex
Модель	RV134W (RV134W-E-K9-G5)
Класс устройства	Офисный
Частота работы Wi-Fi	2.4 ГГц/5 ГГц (dual band)
Общая скорость Wi-Fi	1167 Мбит/с
Сетевые стандарты Wi-Fi	Wi-Fi 1 (802.11b), Wi-Fi 2 (802.11a), Wi-Fi 3 (802.11g), Wi-Fi 4 (802.11n), Wi-Fi 5 (802.11ac)
Безопасность беспроводного соединения	WPA WEP WPA2 802.1x
Контроль доступа	Демилитаризованная зона (DMZ), Защита от DoS-атак, Проверка пакетов (SPI), Фильтр домена (URL), Фильтрация по IP-адресу, Фильтрация по MAC-адресу
Интерфейс подключения к Интернету (WAN)	Gigabit Ethernet (10/100/1000)
Порты LAN	Gigabit Ethernet (100/1000)
Количество LAN портов	4 шт.
Поддержка протоколов	IPv6
Тип антенны	Внутренняя
Количество антенн	4 шт.

Продолжение таблицы 6

Коэффициент усиления антенн	2 dBi
Питание	12 В/2,5 А
Дополнительные функции	Поддержка VPN, Поддержка 3G/4G(LTE), DHCP-сервер, Поддержка VLANNAT, Сетевой экран (Firewall)
Вес	300 г
Размеры (Д×Ш×В)	112×279×203 мм

Сервер Eltex C610 E5-2609v3, 8 Гб DDR4-2133, SAS, SATA, 2xGbE, 770 Вт, 1U для монтажа в стойку UCS-SPR-C220M4-E3, высота одного стандартного блока (1RU) обеспечивает производительность и плотность, достаточное количество бизнес-приложений, веб-сервисов и распределенных баз данных .

«Система Eltex Unified Computing System (UCS) Manager обеспечивает унифицированное встроенное управление всеми программными и аппаратными компонентами Eltex UCS» [15]. Сервер Eltex UCS-SPR-C220M4-E3 показан на рисунке 10. Основные характеристики сервера Eltex UCS-SPR-C220M4-E3 приведены в таблице 7.

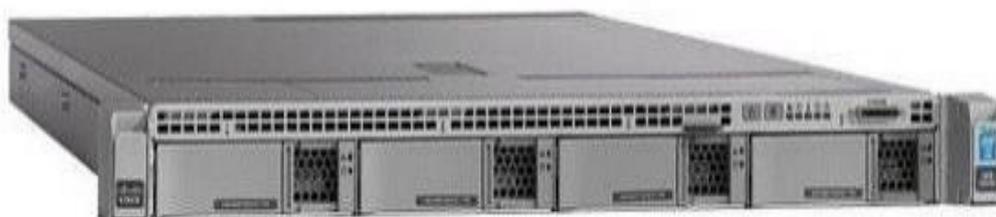


Рисунок 10 – Сервер Eltex UCS-SPR-C220M4-E3

Таблица 7 – Технические характеристики сервера Eltex UCS-SPR-C220M4-E3

Производитель	Eltex
Модель	UCS-SPR-C220M4-E3
Чипсет	Intel C610
Тип процессоров	Intel Xeon
Модель процессора	1 x Intel Xeon E5-2609V3/1.9
Частота процессора	1.9 GHz

Продолжение таблицы 7

Количество ядер процессора	6
Количество сокетов под процессоры	2
Количество установленных процессоров	1
Тип памяти	DDR4
Объем установленной оперативной памяти	От 8 до 32 ГБ
Количество слотов памяти	24
Максимальный объем оперативной памяти	768 ГБ
Интерфейс HDD	SATASAS
Максимальное количество накопителей дисков	8
Скорость портов LAN	10/100/1000 Мбит/с
Количество портов LAN	2x Gigabit Ethernet
Количество портов USB	2x USB 3.0
Количество отсеков для БП	1
Мощность блока питания	770 Вт
Размеры (Д×Ш×В)	756×430×43.2 мм
Тип корпуса	Стоечные (Rack)
Высота	1U

«Этот двухпроцессорный сервер общего назначения с высокой плотностью оптимизирован для обеспечения высокой производительности для широкого спектра рабочих нагрузок, включая: кластеры распределенных баз данных, промежуточное программное обеспечение, виртуальные рабочие столы, ИТ- и веб-инфраструктуру» [15].

Выводы по разделу

Проектирование схемы электроснабжения района выявило ключевые особенности объекта, такие как высокая плотность нагрузок и необходимость надежного электроснабжения критически важных объектов. Расчет электрических нагрузок позволил выбрать трансформаторы оптимальной мощности, а также средства компенсации реактивной мощности для повышения энергоэффективности. Определение центра нагрузки и выбор активного и пассивного сетевого оборудования обеспечили равномерное распределение нагрузки и минимизацию потерь энергии, что улучшает стабильность работы системы электроснабжения в условиях интенсивного городского развития.

3 Проектирование схемы электрических сетей на основе цифровых технологий

3.1 Обзор существующих топологий локальных вычислительных сетей

Существует множество различных типов решений для задач компьютерного моделирования современных электрических сетей.

Из всех программ для построения компьютерной сети была выбрана среда Cisco Packet Tracer.

Packet Tracer, инновационное программное решение, предоставляет возможность эмулировать функционирование разнообразных сетевых устройств, включая маршрутизаторы, коммутаторы, беспроводные точки доступа, персональные компьютеры и сетевые принтеры. Взаимодействие с симулятором осуществляется интерактивно, создавая чрезвычайно реалистичное восприятие проектирования подлинной сетевой инфраструктуры.

Cisco Packet Tracer дает пользователям возможность не только создавать логические модели сетей, но и формировать физические конфигурации для развития навыков в области проектирования. В учебной среде можно легко интегрировать сетевые диаграммы с реальными чертежами, настраивая параметры оборудования, определяя длину и тип используемых кабелей, а также оптимизируя радиус покрытия беспроводной сети с учетом физических ограничений помещений.

Cisco Packet Tracer идеально подходит для обучения сетевым технологиям, эмулируя поведение сетевых устройств с высокой степенью достоверности. Виртуальные возможности данного симулятора позволяют проводить исследования и эксперименты, которые были бы сложными или неудобными при использовании реального оборудования в лабораторных и учебных целях.

Примечательной особенностью этого симулятора является наличие режима моделирования, изображенного на рисунке 11. В этом режиме все пакеты, отправленные в сеть, отображаются графически. Эта функция позволяет учащимся наглядно продемонстрировать, на каком интерфейсе пакеты сейчас перемещаются, какой протокол используется.

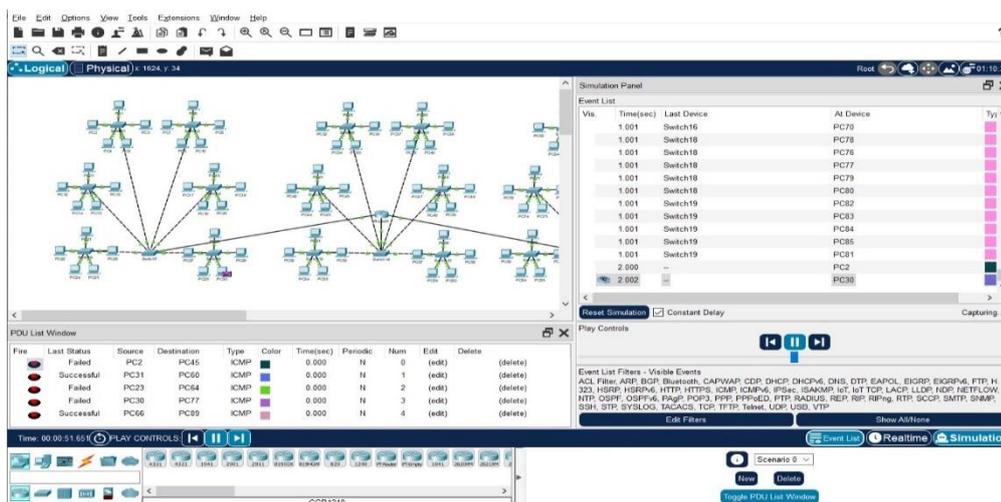


Рисунок 11 – Режим симуляции в Packet Tracer

3.2 Проектирование горизонтальной подсистемы

Было выбрано прокладку кабеля в кабельных коробах в качестве метода прокладки. Чтобы придать ему декоративность, было решено проложить его на высоте 0,70 м от пола в помещениях с рабочими местами и в коридорах. Для зданий используем UTP-кабель категории 5е в качестве кабельных сегментов горизонтальной подсистемы [37]. При подключении кабеля к коммутационной стойке (КС), добавляем высоту стойки - в данном случае 1,6 м. При подключении кабеля к коммутационному шкафу (КШ), добавляем 1,3 м к длине. Также учитываем тактический запас 0,5 м для каждого кабеля. Если кабель проходит над дверью, требуется добавить 2×1,5 м к длине. Если кабель проложен по полу, требуется добавить 0,70 м к длине. Расчет горизонтальной подсистемы представлен в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 - Расчет горизонтальной подсистемы для нежилых помещений.

Узел 1	Узел 2	Расчёт количества кабеля, м	Длина кабеля, м
КШ1	1.1	$1,55 + 0,87 + 1,56 + 3,10 + 0,70 + 1,3 + 0,5$	9,58
	1.2	$1,55 + 0,87 + 1,56 + 3,10 + 0,70 + 5,92 + 0,70 + 3,59 + 0,15 + 1,3 + 0,5 + 2 \cdot 1,5$	22,94
	1.3	$1,55 + 0,87 + 1,56 + 3,10 + 0,70 + 5,92 + 0,70 + 3,59$	17,99
КШ2	2.1	$3,05 + 1,29 + 1,3 + 0,5 + 6,14 + 2,5 + 5,88 + 0,79 + 1,3 + 0,5$	8,47
	2.2	$5,88 + 0,79 + 4,00 + 2,40 + 1,3 + 0,5$	14,87
	2.3	$5,88 + 0,79 + 4,00 + 1,3 + 0,5$	12,47
	2.4	$3,05 + 1,29 + 1,75 + 5,35 + 1,3 + 0,5$	13,24
КШ3	3.1	$0,97 + 2,74 + 4,70 + 3,00 + 1,3 + 0,5$	13,21
	3.2	$0,97 + 2,74 + 4,70 + 3,00 + 0,79 + 8,82 + 0,98 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5$	26,80
	3.3	$0,97 + 2,74 + 4,70 + 3,00 + 0,79 + 8,82 + 0,98 + 3,84 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5$	33,64
	3.4	$0,97 + 2,74 + 4,70 + 3,00 + 0,79 + 8,82 + 0,98 + 3,84 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5 + 2,66$	36,3
	3.5	$0,97 + 2,74 + 4,70 + 3,00 + 0,79 + 8,82 + 0,98 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5 + 0,15$	26,95
КШ4	4.1	$1,3 + 0,5 + 0,15 + 0,78$	2,73
	4.2	$1,3 + 0,5 + 2,02 + 0,80 + 7,02 + 2 \cdot 1,5 + 0,70$	15,34
	4.3	$1,3 + 0,5 + 2,02 + 0,80 + 7,02 + 2 \cdot 1,5 + 0,70 + 3,31$	18,65
	4.4	$1,3 + 0,5 + 2,02 + 0,80 + 7,02 + 2 \cdot 1,5 + 0,70 + 3,31 + 9,78 + 2 \cdot 1,5 + 3,11 + 1,83$	36,37
	4.5	$1,3 + 0,5 + 3 + 0,4 + 0,68 + 1,41$	7,29
	4.6	$1,3 + 0,5 + 0,15 + 2,02$	3,97
КШ5	7.1	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 2 \cdot 1,5$	25,24
	7.2	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 0,57 + 0,77 + 2,82 + 0,70 + 2 \cdot 1,5$	30,1
	7.3	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 0,57 + 0,77 + 0,83 + 6,00 + 2 \cdot 1,5$	33,41
	7.4	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 2 \cdot 1,5 + 0,57 + 4,88 + 1,26 + 1,50 + 0,70$	34,15
	7.5	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 2 \cdot 1,5 + 0,57 + 4,88 + 1,26 + 0,70$	32,65
	7.6	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45$	10,65
	7.7	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 0,57 + 0,77 + 0,83 + 2 \cdot 1,5$	27,41
	7.8	$1,3 + 0,5 + 1,63 + 1,77 + 5,45 + 3,02 + 1,27 + 2,10 + 5,20 + 2 \cdot 1,5 + 0,57 + 4,88 + 1,26 + 1,50 + 0,70$	34,15
Итого			531.40

Таблица 9 – Расчёт горизонтальной подсистемы для жилых помещений

Узел 1	Узел 2	Расчёт количества кабеля, м	Длина кабеля, м
КШ6	5.1	$1,47 + 1,47 + 2,38 + 1,21 + 4,81 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5$	16,14
	5.2	$1,3 + 0,5 + 1,47 + 1,47 + 3 + 0,4 + 3,76 + 2,29$	14,19
	5.3	$1,3 + 0,5 + 1,47 + 1,47 + 3 + 0,4 + 3,76 + 2,29 + 2,30 + 4,40 + 2 \cdot 1,5 + 2,45 + 2,06 + 4,95$	33,35
	5.4	$1,47 + 1,47 + 2,38 + 1,21 + 4,81 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5 + 1,26 + 6,20 + 2,17$	25,77
	5.5	$1,3 + 0,5 + 1,47 + 1,47 + 3 + 0,4 + 1,15$	9,29
	5.6	$1,47 + 1,3 + 0,5$	3,27
	5.7	$1,3 + 0,5 + 1,47 + 1,47 + 3 + 0,4 + 3,76 + 2,29 + 2,30$	16,49
КШ7	6.1	$1,3 + 0,5 + 2,24 + 2,26 + 1,31$	7,61
	6.2	$1,3 + 0,5 + 4,00 + 2 \cdot 1,5$	8,8
	6.3	$1,3 + 0,5 + 2,24 + 2,26 + 1,31$	7,61
	6.4	$1,3 + 0,5 + 2,24 + 4,45 + 1,31 + 2,25$	12,05
	6.5	$4,00 + 2,30 + 2,31 + 5,55 + 5,49 + 2,06 + 2,45 + 4,40 + 2,30 + 0,15 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5$	38,81
	6.6	$1,3 + 0,5 + 2,24 + 4,45 + 1,31$	9,8
	6.7	$1,3 + 0,5 + 2,24 + 4,45 + 1,31 + 2,25$	12,05
	6.8	$1,3 + 0,5 + 4,00 + 2 \cdot 1,5 + 2,30$	11,1
	6.9	$1,3 + 0,5 + 2,24 + 4,45 + 1,31 + 2,25 + 1,40$	13,45
	6.10	$4,00 + 2,30 + 2,31 + 5,55 + 5,49 + 2,06 + 2,45 + 4,40 + 2,30 + 2,29 + 2,34 + 0,15 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 0,5$	43,44
Итого			314,17

Дополнительно рассчитывается технологический запас кабеля в размере 10%. Длина кабеля для горизонтальной подсистемы равна:

$$(531,40 + 314,17) \cdot 1,10 = 930,1 \text{ (м)}$$

3.3 Проектирование вертикальной подсистемы

В рамках данного проекта в качестве кабельных сегментов вертикальной подсистемы используется кабель UTP Category 5e. Правила расчёта длины кабеля для вертикальной подсистемы те же что и для горизонтальной подсистемы в многоэтажных зданиях. Высота стен от пола до потолка во всех зданиях равна 3 м. Ширина перекрытий между этажами во всех зданиях равна 0,4 м.

В вертикальную подсистему входят кабели, соединяющий коммутационные шкафы с коммутационными стойками. Их длина рассчитана в таблице 10 и таблице 11.

Таблица 10 – Расчет вертикальной подсистемы для нежилых помещений.

Узел 1	Узел 2	Расчет количества кабеля, м	Длина кабеля, м
КС1	КШ1	$1,60 + 6,73 + 1,15 + 6,00 + 2 \cdot 1,5 + 0,83 + 0,77 + 0,57 + 5,20 + 2 \cdot 1,5 + 2,10 + 1,27 + 3,02 + 5,45 + 1,77 + 1,63 + 1,30$	45,39
	КШ2	$1,60 + 6,73 + 10,15 + 6,10 + 0,80 + 2,50 + 0,68 + 3 + 0,4 + 0,78 + 2,02 + 0,80 + 7,02 + 0,70 + 3,31 + 9,78 + 0,87 + 3,10 + 5,92 + 0,70 + 0,15 + 8,82 + 0,79 + 3,00 + 4,70 + 2,74 + 0,97 + 1,3 + 2 \cdot 1,5 + 3 + 0,4$	110,83
	КШ3	$1,60 + 6,73 + 10,15 + 6,10 + 0,80 + 2,50 + 0,68 + 3 + 0,4 + 0,78 + 2,02 + 0,80 + 7,02 + 0,70 + 3,31 + 9,78 + 3,11 + 1,3 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 3 + 0,4$	76,18
	КШ4	$1,60 + 6,73 + 10,15 + 6,10 + 0,80 + 2,50 + 0,68 + 3 + 0,4 + 0,78 + 1,30 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 3 + 0,4$	43,44
Итого:			276,24

Таблица 11 – Расчет вертикальной подсистемы для жилых помещений

Узел 1	Узел 2	Расчет количества кабеля, м	Длина кабеля, м
КС2	КШ5	$1,60 + 1,86 + 1,26 + 4,81 + 2 \cdot 1,5 + 1,21 + 2,38 + 1,47 + 1,47 + 1,3$	20,36
КС2	КШ6	$1,60 + 1,86 + 1,26 + 4,81 + 2 \cdot 1,5 + 1,21 + 2,38 + 3,76 + 2,29 + 2,30 + 4,40 + 2 \cdot 1,5 + 2,45 + 2,06 + 5,49 + 5,55 + 2,31 + 2,30 + 4,00 + 2 \cdot 1,5 + 1,3 + 3 + 0,4$	63,73
Итого:			84,09

Таким образом суммарная длина кабеля вертикальной подсистемы с учётом 10% запаса составит: $(84,09 + 276,24) \cdot 1,1 = 404,33$ (м)

3.4 Проектирование магистральной подсистемы

Магистральная подсистема комплекса служит для соединения зданий организации между собой. Данная система включает в себя кабель,

проложенный между зданиями в туннеле под землей. Данная магистраль будет проложена в ПНД трубах из вторсырья, специально предназначенная для кабеля. Диаметр трубы – 32 мм. Все кабели между зданиями должны быть установлены с соблюдением требований соответствующих нормативов [38].

Для соединения зданий, расположенных на расстоянии 5568 м, используется одномодовый оптоволоконный кабель для прокладки в грунт.

Кабель подводится к зданиям через шахты, расположенные непосредственно в аппаратных. Это позволяет избежать его излишней проводки по помещениям.

Глубина прокладки кабеля – 2 м. Таблица расчетов для данной подсистемы представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет магистральной подсистемы

Узел 1	Узел 2	Расчет количества кабеля, м	Длина кабеля, м
КС1	КС2	1,60 + 1,86 + 1,26 + 4,81 + 2·1,5 + 1,21 + 2,38 + 0,7 + 2 + 5568 + 2 + 1,60 + 6,73 + 10,15 + 6,10 + 0,80 + 2,50 + 0,7 + 0,68	5618,08

Таким образом суммарная длина кабеля вертикальной подсистемы с учётом 10% запаса составит: $5618,08 \cdot 110\% = 6179,8$ (м)

По итогу, на построение магистральной с учетом запаса необходимо 6179,8 метра. Так же, для прокладки кабеля необходимо 5731 м трубы с учетом 2% технологического запаса. Выбранная труба продается бухтами, длина трубы в каждой – 100 м. Следовательно, необходимо 58 бухт.

3.5 Разбиение на сети и подсети с выбором IP адресов

В результате выбранного сетевого оборудования и структуры сети была создана моделируемая электрическая сеть проектируемого города, которая представлена на рисунке 12.

В созданной имитационной сети, были созданы две локальные сети с использованием коммутаторов, каждая из которых обслуживает компьютеры. Третий переключатель служит для разделения сетевых устройств, таких как сервер, Wi-Fi-роутер, и подключения к внешней сети интернет и двум провайдерам.

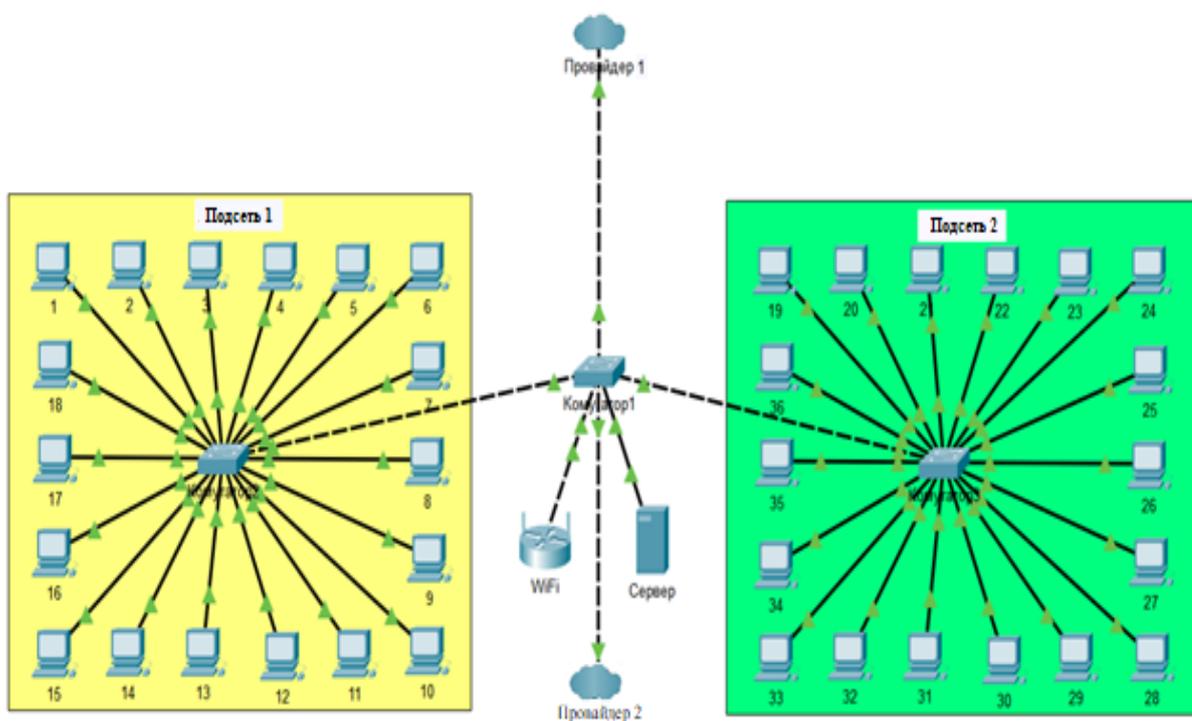


Рисунок 12 – Модельная сеть проектируемой организации

При создании большой топологии можно столкнуться с ситуацией, когда становится сложно что-либо понять или отследить. В этом случае помогает группировка (кластеризация) некоторых устройств, что обеспечивает объединение этих устройств в единое облачное представление. Модель в виде кластеризации представлена на рисунке 13.

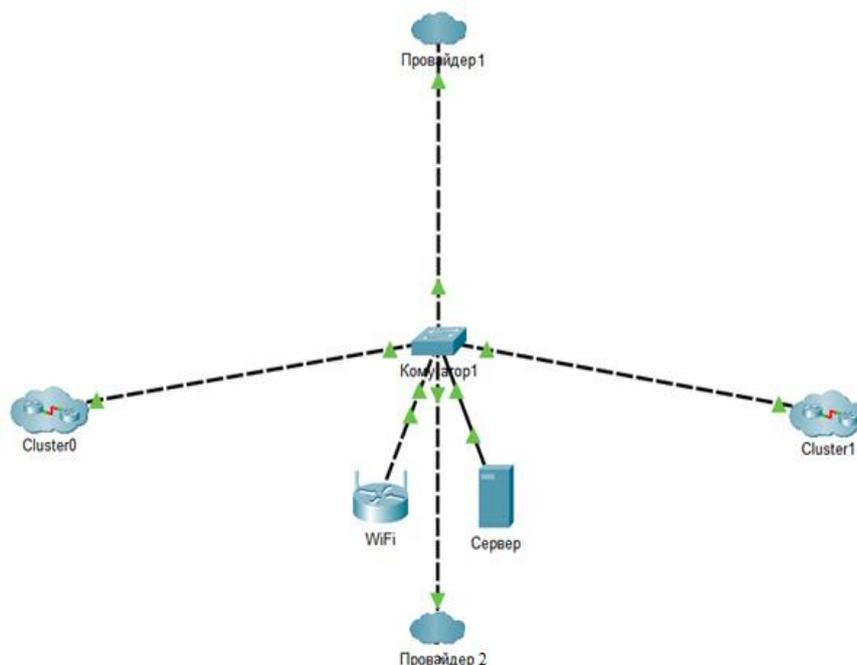


Рисунок 13 – Модель в виде кластеризации

Для правильного функционирования развитой сети необходимо прописать статические IP-адреса для компьютеров и сервера сети. Настройте физические сетевые порты маршрутизатора.

Первым шагом была настройка статической адресации персональных компьютеров с использованием протокола BGP. Пример конфигурации настройки компьютеров согласно таблице 13.

Таблица 13 – Статическая сетевая адресация

Название ПК	IP-адреса	Маска подсети
1	192.168.99.2	255.255.255.0
2	192.168.99.3	255.255.255.0
3	192.168.99.4	255.255.255.0
4	192.168.99.5	255.255.255.0
5	192.168.99.6	255.255.255.0
6	192.168.99.7	255.255.255.0
7	192.168.99.8	255.255.255.0
8	192.168.99.9	255.255.255.0
9	192.168.99.11	255.255.255.0
10	192.168.99.12	255.255.255.0

Продолжение таблицы 13

Название ПК	IP-адреса	Маска подсети
11	192.168.99.13	255.255.255.0
12	192.168.99.14	255.255.255.0
13	192.168.99.15	255.255.255.0
14	192.168.99.16	255.255.255.0
15	192.168.99.17	255.255.255.0
16	192.168.99.18	255.255.255.0
17	192.168.99.19	255.255.255.0
18	192.168.99.20	255.255.255.0
19	192.168.99.21	255.255.255.0
20	192.168.99.22	255.255.255.0
21	192.168.99.23	255.255.255.0
22	192.168.99.24	255.255.255.0
23	192.168.99.25	255.255.255.0
24	192.168.99.26	255.255.255.0
25	192.168.99.27	255.255.255.0
26	192.168.99.28	255.255.255.0
27	192.168.99.29	255.255.255.0
28	192.168.99.30	255.255.255.0
29	192.168.99.31	255.255.255.0
30	192.168.99.32	255.255.255.0
31	192.168.99.33	255.255.255.0
32	192.168.99.34	255.255.255.0
33	192.168.99.35	255.255.255.0
34	192.168.99.36	255.255.255.0
35	192.168.99.37	255.255.255.0
36	192.168.99.38	255.255.255.0

3.6 Настройка сетевого серверного программного обеспечения в программе Cisco Packet Tracer

После всех настроек сети было проведено тестирование соединения с помощью утилиты ping. Для этого с первого компьютера первой подсети с ip-адресом «192.168.99.2» отправили запрос ICMP на 12 компьютер первой подсети с ip-адресом «192.168.99.13». Передача ICMP пакетов первой подсети по протоколу BGP показана на рисунке 14.

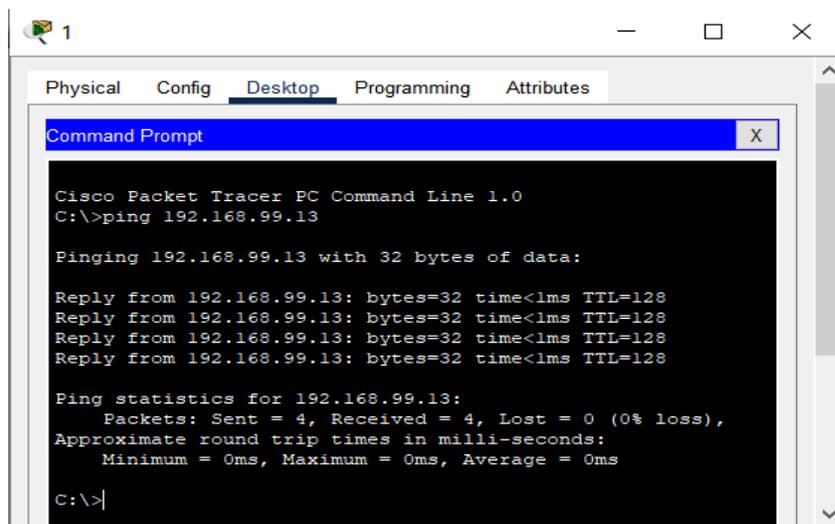


Рисунок 14 – Передача пакетов от ПК1 к ПК12 по протоколу BGP

Подобным образом выполним тестирование соединения компьютеров второй подсети, для этого отправим запрос с компьютера 19 с IP-адресом «192.168.99.20» на компьютер 30 с IP-адресом «192.168.99.31». Передача ICMP пакетов второй подсети по протоколу BGP показана на рисунке 15.

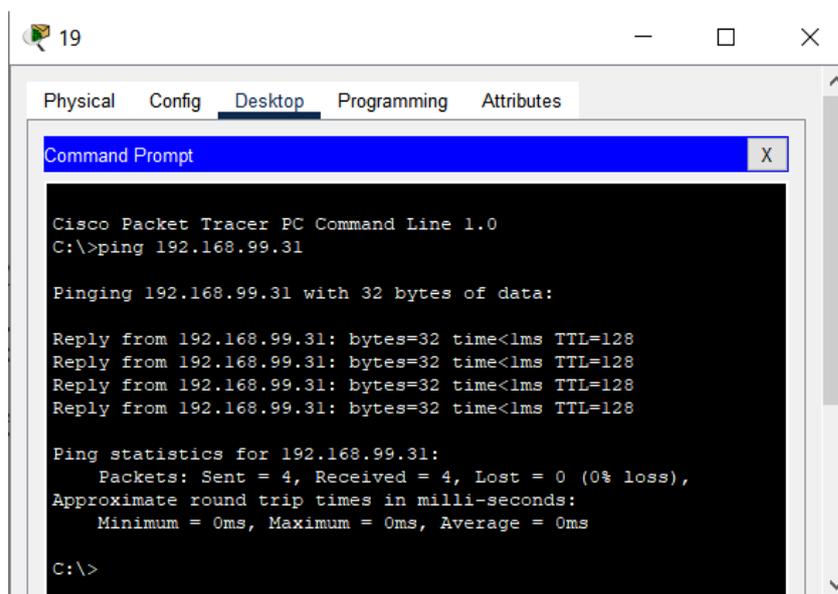
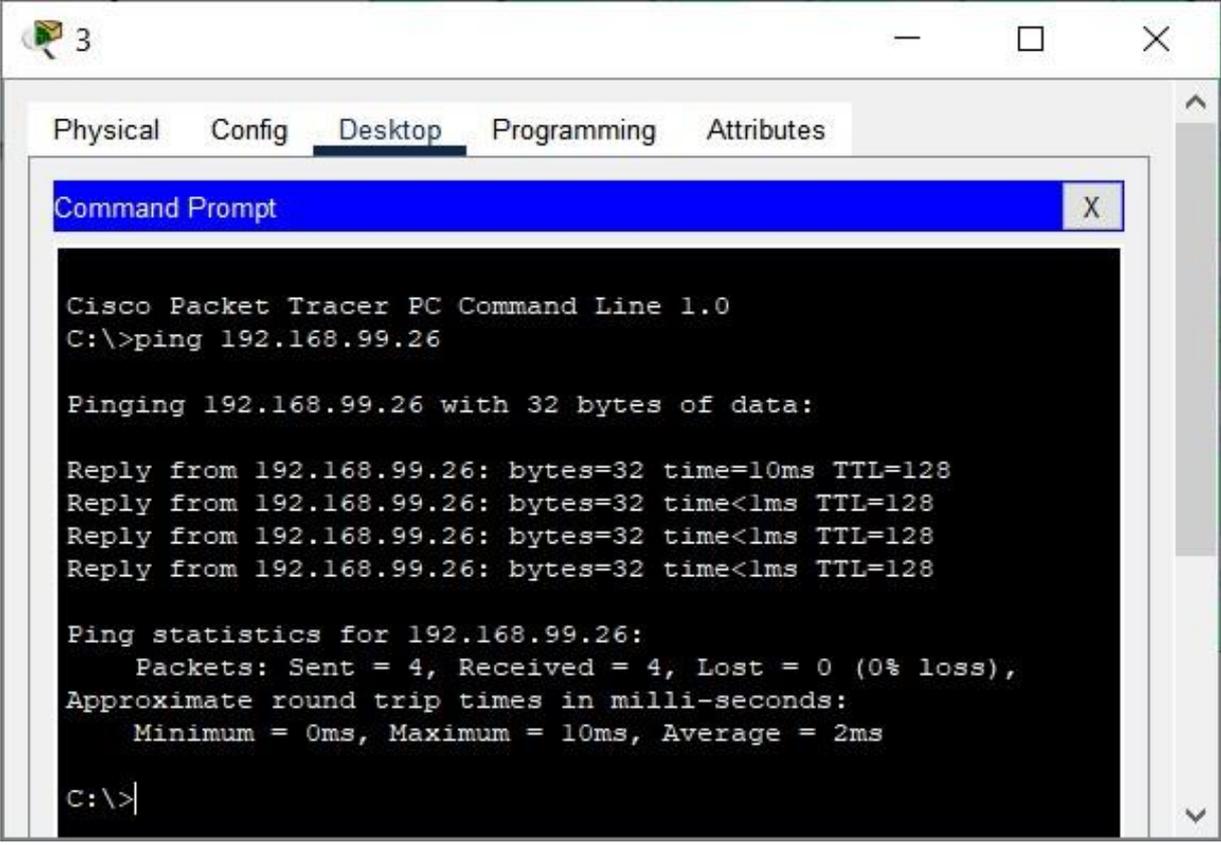


Рисунок 15 – Передача пакетов от ПК19 к ПК30 по протоколу BGP

Также проверим соединение устройств между подсетями. Отправим запрос с 3 компьютера первой подсети с ip-адресом «192.168.99.4» на 25 компьютер второй подсети с ip-адресом «192.168.99.26». Передача пакетов ICMP между подсетями по протоколу BGP показана на рисунке 16.



```
Cisco Packet Tracer PC Command Line 1.0
C:\>ping 192.168.99.26

Pinging 192.168.99.26 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.99.26: bytes=32 time=10ms TTL=128
Reply from 192.168.99.26: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.99.26: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.99.26: bytes=32 time<1ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.99.26:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 10ms, Average = 2ms

C:\>
```

Рисунок 16 – Передача пакетов от ПК3 к ПК25 по протоколу BGP

Последнее оставшееся проверить доступность подсетей к беспроводной точке доступа Wi-Fi. Были отправлены запросы с ПК 17 и ПК 34 в адрес точки доступа, имеющей ip-адрес «192.168.99.1» по протоколу BGP. Результат приведен на рисунке 17.

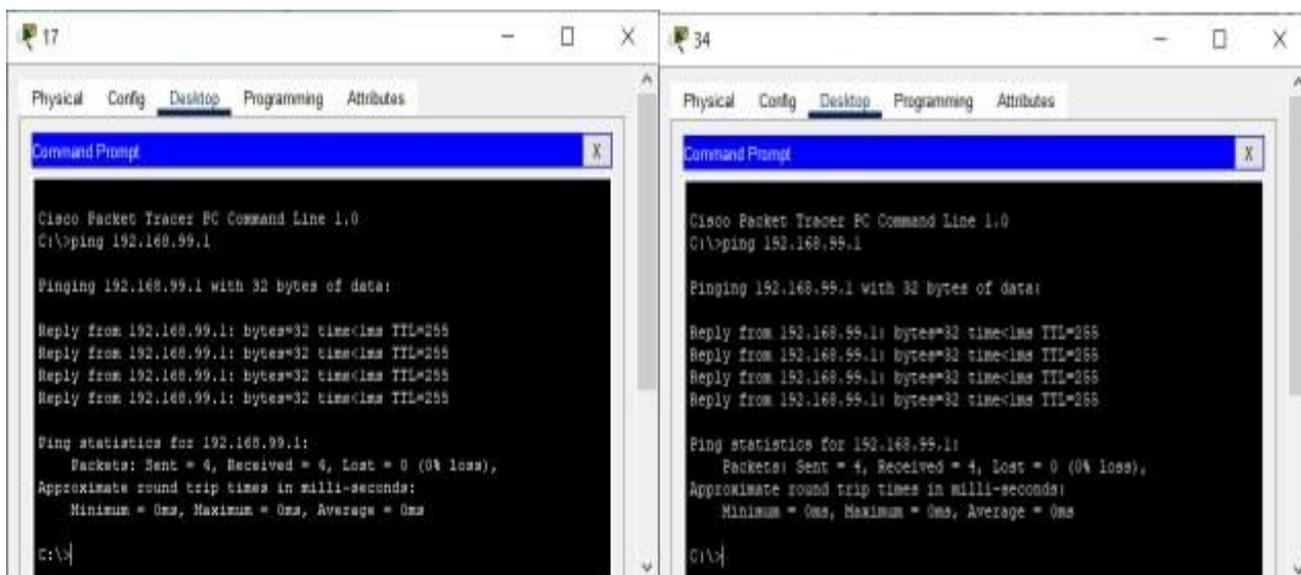


Рисунок 17 – Передача пакетов от ПК17 и ПК34 по протоколу BGP

Доступность подсетей к беспроводной точке доступа Wi-Fi соответствует требованиям.

3.7 Настройка сетевого клиентского программного обеспечения в программе Cisco Packet Tracer

Открываем окно настройки устройства и переходим на вкладку "Desktop", где выбираем опцию "IP Configuration". В этом окне вводим статический IP-адрес, маску подсети и шлюз по умолчанию. Эти параметры должны соответствовать схеме сети, которую мы проектируем, и обеспечивать правильное взаимодействие с другими устройствами в сети.

После завершения настройки IP-адреса необходимо проверить сетевое соединение. Для этого можно использовать команду "Ping", которая позволяет протестировать доступность других устройств в сети. В окне командной строки, доступном на вкладке "Desktop", вводим команду ping и указываем IP-адрес другого устройства. Если пинг проходит успешно, это означает, что клиент настроен правильно и может обмениваться данными с другими устройствами в сети.

Кроме того, в зависимости от требований сети, можно настроить дополнительные параметры, такие как протоколы, безопасность и службы. Например, для настройки DHCP-клиента нужно активировать функцию автоматической конфигурации IP-адреса, что позволит клиентскому устройству автоматически получать настройки сети от DHCP-сервера. Важно убедиться, что клиентский компьютер настроен на использование соответствующего протокола, чтобы гарантировать успешное взаимодействие с сетевыми ресурсами.

Настройка клиентского программного обеспечения в Cisco Packet Tracer предоставляет возможность моделирования и отладки сетевых конфигураций, что значительно упрощает процесс проектирования и внедрения сетевых решений. Правильная настройка клиентских устройств способствует эффективной работе всей сети и улучшает её производительность (рисунок 18).

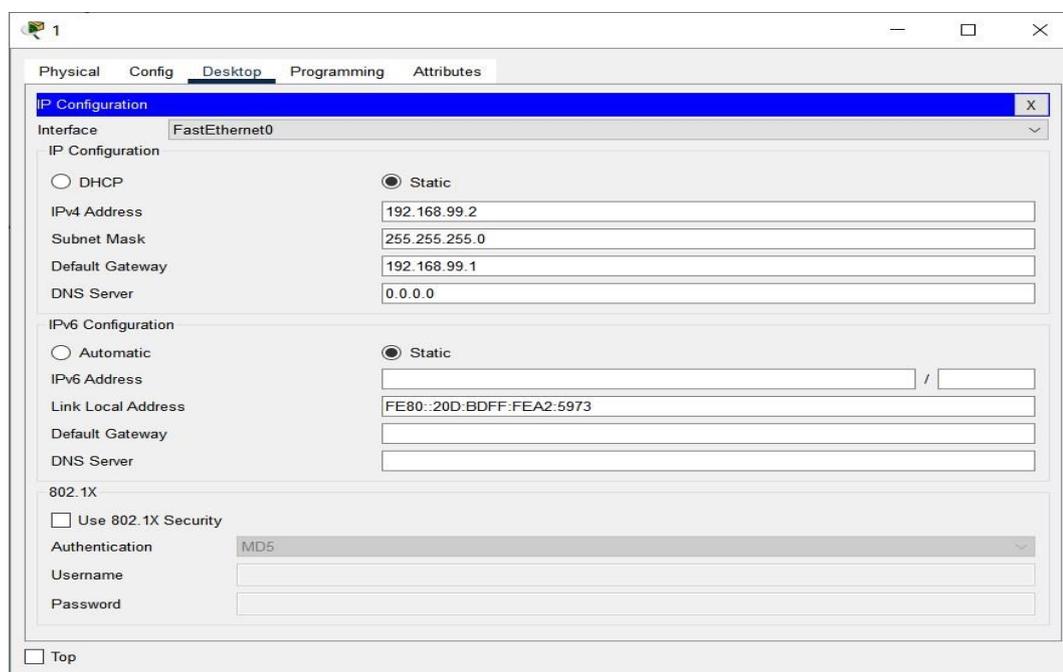


Рисунок 18 – Настройка первого компьютера сети

Также настроим статическую адресацию для сервера, назначим адрес «192.168.99.100» с маской сети «255.255.255.0» и шлюзом «192.168.99.1». Настройки сервера приведены на рисунке 19.

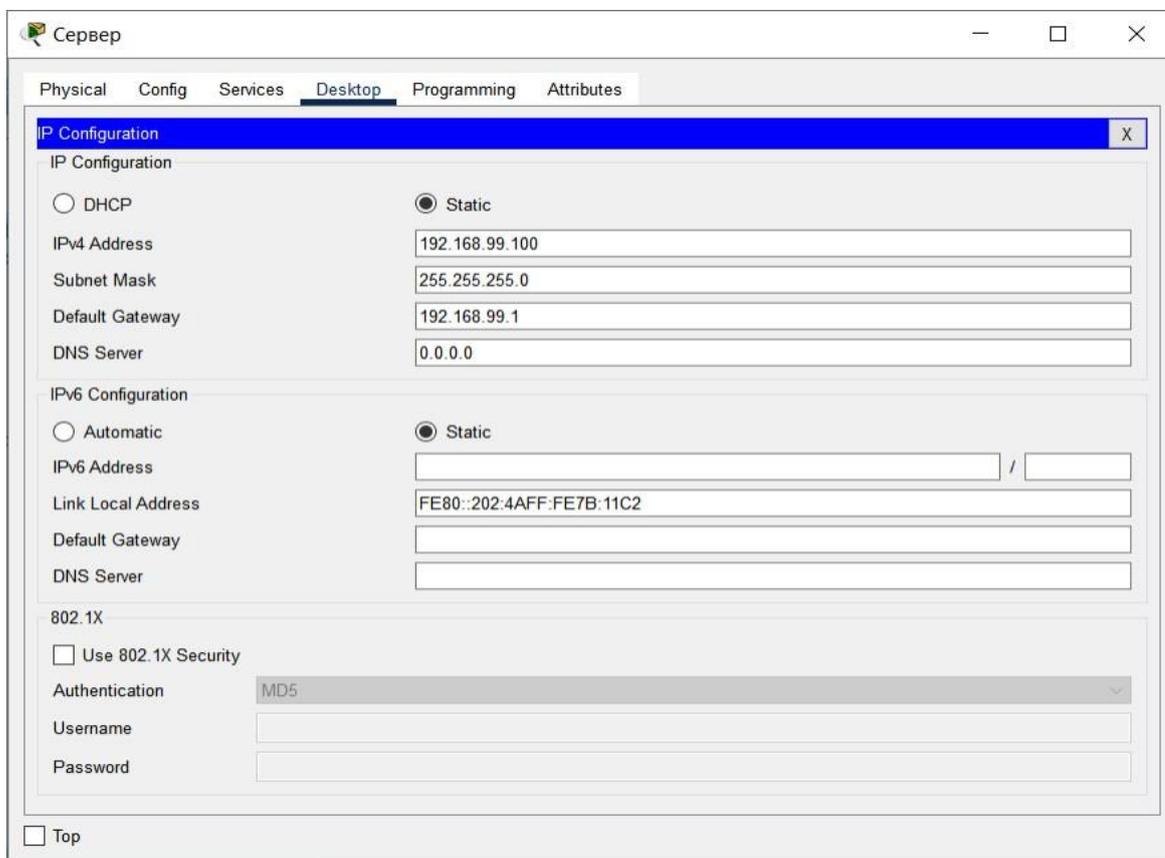
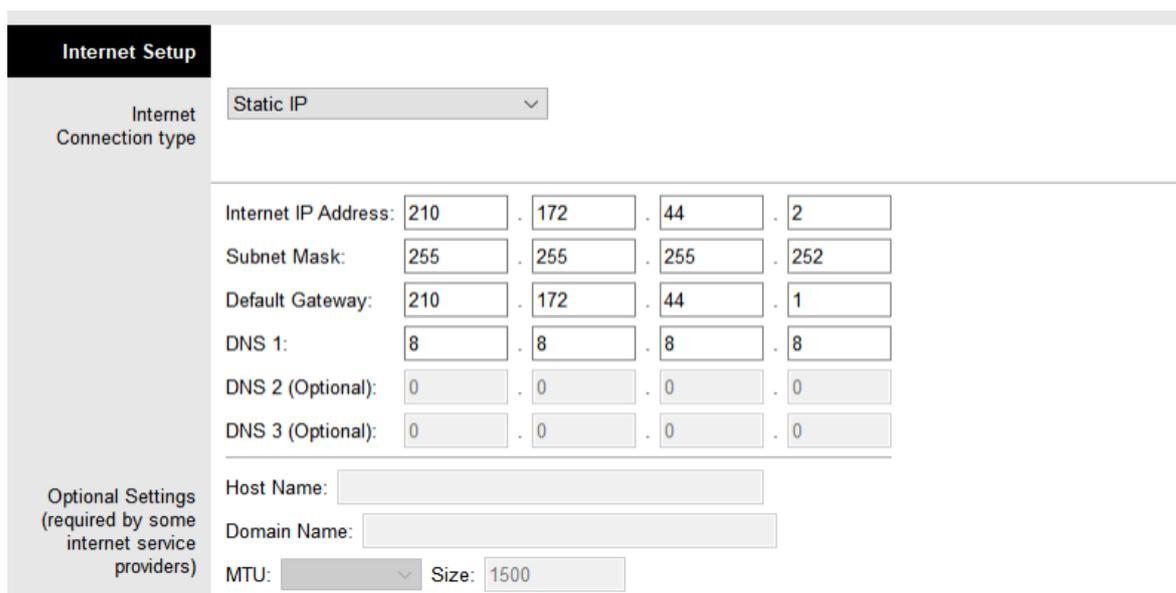


Рисунок 19 – Настройка сервера сети

С целью обеспечения беспроводной сети предприятия в случае непредвиденных проблем с проводным соединением была произведена настройка Wi-Fi роутера с помощью веб-интерфейса. На рисунке 20 можно увидеть настройку внешнего интерфейса.



Internet Setup

Internet Connection type: Static IP

Internet IP Address: 210 . 172 . 44 . 2

Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 252

Default Gateway: 210 . 172 . 44 . 1

DNS 1: 8 . 8 . 8 . 8

DNS 2 (Optional): 0 . 0 . 0 . 0

DNS 3 (Optional): 0 . 0 . 0 . 0

Optional Settings (required by some internet service providers)

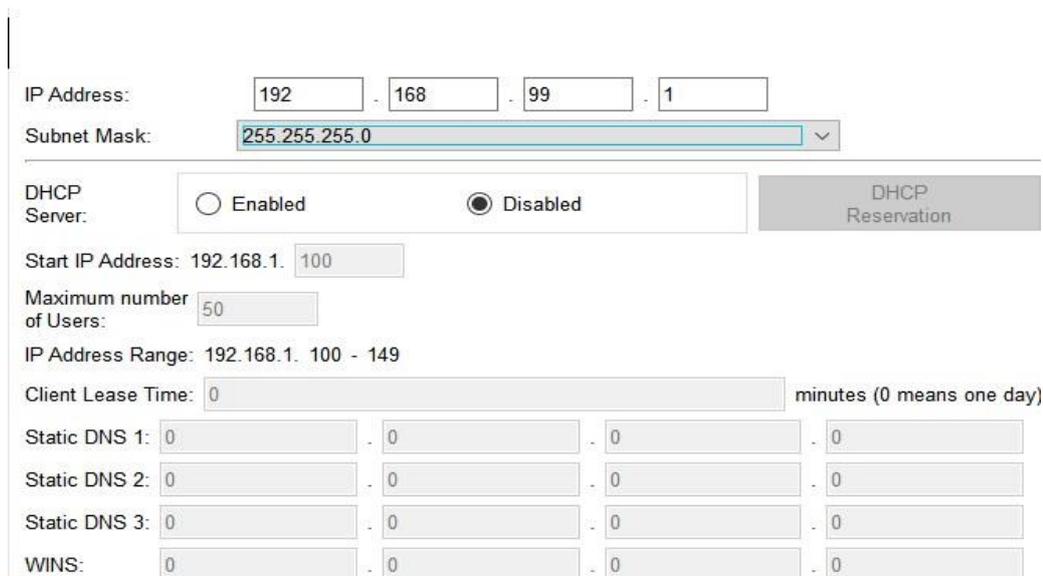
Host Name:

Domain Name:

MTU: Size: 1500

Рисунок 20 – Настройка внешнего интерфейса

Следующим шагом был выбран IP-адрес «192.168.99.1», и 24-битная маска подсети «255.255.255.0», DHCP-сервер был отключен так как в сети используется статическая адресация. После чего была сохранена настройка (рисунок 21).



IP Address: 192 . 168 . 99 . 1

Subnet Mask: 255.255.255.0

DHCP Server: Enabled Disabled

Start IP Address: 192.168.1.100

Maximum number of Users: 50

IP Address Range: 192.168.1.100 - 149

Client Lease Time: 0 minutes (0 means one day)

Static DNS 1: 0 . 0 . 0 . 0

Static DNS 2: 0 . 0 . 0 . 0

Static DNS 3: 0 . 0 . 0 . 0

WINS: 0 . 0 . 0 . 0

Рисунок 21 – Настройка ip-адреса сети

Настройки Wi-Fi сети выполнялись по последовательности действий. Сначала был выбран смешанный режим, чтобы была возможность подключиться к двум провайдерам, установлен идентификатор сети (SSID) как "Dream Network", ширина канала (Radio Band) была настроена на автоматический режим, частота установлена на 1-2.412GHz, а видимость сети (SSID Broadcast) была включена (enable). Ширина канала (Chanel Bandwidth) установлена в размере 20 MHz. Аналогичные действия были настроены на частоту 5GHz. После этого настройки были сохранены (рисунок 22).

The image shows a configuration interface for wireless settings. On the left, a vertical sidebar contains the text "Basic Wireless Settings". The main area is divided into two sections: "2.4 GHz" and "5 GHz - 2". Each section contains five settings: "Network Mode" (set to "Auto"), "Network Name (SSID)" (set to "Dream Network" for 2.4 GHz and "Dream Network 5G" for 5 GHz), "SSID Broadcast" (set to "Enabled" with a radio button), "Standard Channel" (set to "1 - 2.412GHz" for 2.4 GHz and "Auto" for 5 GHz), and "Channel Bandwidth" (set to "20 MHz" for 2.4 GHz and "Auto" for 5 GHz). Each setting is represented by a text label followed by a dropdown menu or a radio button.

Frequency	Network Mode	Network Name (SSID)	SSID Broadcast	Standard Channel	Channel Bandwidth
2.4 GHz	Auto	Dream Network	Enabled	1 - 2.412GHz	20 MHz
5 GHz - 2	Auto	Dream Network 5G	Enabled	Auto	Auto

Рисунок 22 – Настройка Wi-Fi сети

В настройках Wireless Security был выбран режим шифрования WPA2 Personal, алгоритм шифрования AES, ключевое слово для выбранного режима шифрования 88888888 (рисунок 23).

Wireless Security

2.4 GHz

Security Mode: WPA2 Personal

Encryption: AES

Passphrase: 88888888

Key Renewal: 3600 seconds

5 GHz - 1

Security Mode: WPA Personal

Encryption: AES

Passphrase: 88888888

Key Renewal: 3600 seconds

Рисунок 23 – Настройка Wireless Security

Выводы по разделу

Проектирование электрических сетей с использованием цифровых технологий позволило внедрить современные решения для оптимизации топологий локальных вычислительных сетей. Разработка горизонтальных, вертикальных и магистральных подсистем обеспечила надежное и эффективное взаимодействие всех компонентов сети. Разбиение на сети и подсети с выбором IP-адресов, а также настройка серверного и клиентского ПО в Cisco Packet Tracer позволили достичь высокого уровня автоматизации и управляемости системы электроснабжения.

Заключение

В ходе проведенного исследования была рассмотрена проблема модернизации городских электрических сетей с применением цифровых технологий для повышения энергетической эффективности.

На основании анализа текущего состояния электрических сетей были выявлены основные проблемы, среди которых уровень износа оборудования, значительные потери электроэнергии недостаточная автоматизация процессов управления мониторинга.

Изучение современных цифровых технологий, таких интеллектуальные системы управления, автоматизация, мониторинг, показало, внедрение способно значительно улучшить эффективность эксплуатации сетей. Цифровизация распределительных сетей позволяет оперативно управлять потоками энергии, снижать потери, повышать электроснабжения.

В результате работы были предложены конкретные меры запас модернизации городских электрических сетей с использованием интеллектуальных систем управления, мониторинга анализа данных.

Эти меры включают внедрение умных счетчиков, автоматизированных систем управления анализа больших данных для предсказания возможных аварийных ситуаций, оптимизации работы сети.

Проведённая оценка эффективности предложенных решений показала, цифровизацию электрических сетей способствует значительному снижению эксплуатационных затрат, повышению надежности электроснабжения улучшению качества предоставляемых услуг.

Таким образом, модернизация электрических сетей цифровых технологий является важным шагом пути к созданию энергоэффективной городской инфраструктуры.

Новизна данной работы заключается в комплексном подходе к внедрению цифровых технологий, позволяющем не только решать

существующие проблемы, но и формировать эффективные и устойчивые электрические сети будущего.

Проведённая оценка эффективности предложенных решений показала, что цифровизация электрических сетей способствует значительному снижению эксплуатационных затрат, повышению надёжности электроснабжения и улучшению качества предоставляемых услуг.

Практическая значимость результатов заключается в предложенных решениях, которые могут использоваться для модернизации существующих электрических сетей других городах, позволит значительно повысить надёжный уровень энергетической эффективности надёжность.

Внедрение таких технологий также соответствует современным требованиям к устойчивому развитию городов созданию умной городской инфраструктуры.

Список используемой литературы

1. Автоматизация систем энергоснабжения [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book2> (дата обращения: 11.10.2024).
2. Безопасность в энергетике [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book18> (дата обращения: 11.10.2024).
3. Беркович М. А., Гладышев В. А., Семенов В. А. Автоматика энергосистем: учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.
4. Болотный И. П. Конспект лекций по курсу "Электрические системы и сети". Донецк: ДонНТУ, 2002. 123 с.
5. Бохан А. Н. Проектирование подстанций систем электроснабжения: учеб. пособие. Гомель: ГГТУ им. П. А. Сухого, 2017. 311 с.
6. Герасимов С. Е., Меркурьев А. Г. Регулирование напряжения в распределительных сетях. С-Пб.: Центр подготовки кадров СЗФ АО "ГВЦ Энергетики", 1998.
7. Гук Ю. Б., Кантан В. В., Петрова С. С. Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. 312 с.
8. Инновации в области энергетики [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book5> (дата обращения: 11.10.2024).
9. Кокин С. Е., Дмитриев С. А., Хальясмаа А. И. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 100 с.
10. Максимова Н. А. Структура региональных образовательных порталов // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2014. № 11. С. 16–20. URL: <https://e-koncept.ru/2014/14300.htm> (дата обращения: 11.10.2024).
11. Минэнергоуголь. Правила устройства электроустановок: 2017. Офиц. изд. Минэнергоуголь, 2017. 617 с.

12. Минэнергоуголь. ПУЭ-6. Релейная защита. [Электронная ссылка]. URL: https://rza.org.ua/pue/read/Glava-3-2--PUE-6--RELEYNAYA_ZASHCHITA-_16.html (дата обращения: 11.10.2024).
13. Модернизация энергетических объектов [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book21> (дата обращения: 11.10.2024).
14. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986. 640 с.
15. Нормативные документы в энергетике [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book15> (дата обращения: 11.10.2024).
16. Оптимизация электрических сетей [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book11> (дата обращения: 11.10.2024).
17. Оценка рисков в энергетических системах [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book19> (дата обращения: 11.10.2024).
18. Перспективы развития энергетики России [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book16> (дата обращения: 11.10.2024).
19. Почаевец В. С. Электрические подстанции. Учебник. 2012. 491 с.
20. Развитие возобновляемых источников энергии [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book10> (дата обращения: 11.10.2024).
21. Регулирование напряжения в энергосистеме [электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1140-regulirovanie-naprjazhenija-v.html> (дата обращения: 11.10.2024).
22. Рожкова Л. Д., Корнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования. Изд. центр Академия, 2004. 448 с.
23. Синьков В. М., Богословский А. В., Григоренко В. Г., Калиновский Л. А., Огородников А. А., Мозговая Э. А. Оптимизация режимов энергетических систем. Изд. объединение "Высшая школа", 1976. 308 с.

24. Системы сборных шин распределительных и трансформаторных подстанций [электронная ссылка]. URL: <http://electricalschool.info/main/visokovoltny/2449-sistemy-sbornyh-shin-podstanciy.html> (дата обращения: 11.10.2024).
25. Современные методы анализа энергосистем [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book13> (дата обращения: 11.10.2024).
26. Технологии переработки отходов [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book6> (дата обращения: 11.10.2024).
27. Технологии умных сетей [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book23> (дата обращения: 11.10.2024).
28. Управление качеством электроэнергии [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book12> (дата обращения: 11.10.2024).
29. Устойчивость энергосистем: научный подход [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book4> (дата обращения: 11.10.2024).
30. Устойчивое развитие энергетических систем [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book8> (дата обращения: 11.10.2024).
31. Устойчивое развитие электрических сетей [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book14> (дата обращения: 11.10.2024).
32. Экономика энергетических проектов [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book17> (дата обращения: 11.10.2024).
33. Электрическая энергия: современное состояние и перспективы [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book9> (дата обращения: 11.10.2024).
34. Электрические сети и подстанции: учебник. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book1> (дата обращения: 11.10.2024).
35. Электрические подстанции: теория и практика [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book22> (дата обращения: 11.10.2024).
36. Энергетическая безопасность России: проблемы и решения [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book3> (дата обращения: 11.10.2024).

37. Энергетические системы: проектирование и эксплуатация [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book20> (дата обращения: 11.10.2024).
38. Энергосбережение: теория и практика [электронный ресурс]. URL: <https://www.example.com/book7> (дата обращения: 11.10.2024).
39. Яндульский А. С., Заболотный И. П., Кобазев В. П. Автоматическое регулирование в электрических системах: учебник. Донецк: Ноулидж, Донец. отд-ние, 2010. 190 с.
40. Jenkins N. An Overview of the Smart Grid in Great Britain [Электронный ресурс]: DOAJ. 2015. <https://doaj.org/article/0ce3090d866444d99640fc7e7fa556f1> (дата обращения 28.11.2024)
41. Bai J. Digital Metering System of New Generation Smart Substation in China [Электронный ресурс]: MATEC Web of Conferences. – 2016 – PP 1-10. - URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/18/mateconf_acree2016_06007.pdf (дата обращения 28.11.2024)
42. Hinkley K. First digital substation in TransGrid – Australia: a journey, business case, lessons [Электронный ресурс]: The Journal of Engineering. – Volume 2018. Issue: 15. PP 1135 1139 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8503009> (дата обращения 28.11.2024)
43. Dong X. Smart power substation development in China [Электронный ресурс]: CSEE Journal of Power and Energy Systems. – Volume 2016. Issue: 4. PP 1-5 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7785861> (дата обращения 28.11.2024)
44. Holbach J. IEC 61850 projects Bradley [Электронный ресурс]: PACWorldmagazine. 2007. PP 50- 58 URL: https://www.pacw.org/issue/autumn_2007_issue/tva_bradley/first_iec_61850_multivendor_project_in_the_usa.html (дата обращения 28.11.2024)