

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения поселка городского типа в Самарской области

Обучающийся

Е.М. Исаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., доцент, А.Ю. Хренников

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Егорова

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе выполнен проект реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа, находящегося в Самарской области Российской Федерации

Для достижения поставленной в выпускной квалификационной работе цели выполнены: расчет электрических нагрузок до реконструкции, выполнен светотехнический расчет системы уличного освещения, расчет электрических нагрузок после реконструкции, выбор силовых трансформаторов для поселковых подстанций, выбор кабельных линий, выбор коммутационных аппаратов. Для оценки результативности мероприятий, проведенных в выпускной квалификационной работе выполнен расчет показателей энергоэффективности системы электроснабжения поселка городского типа.

Выпускная квалификационная работа состоит из текстовой и графической частей. Текстовая часть представляет собой пояснительную записку в количестве 55 листов. Пояснительная записка помимо текста содержит 4 рисунка, 9 таблиц. Список используемых источников включает 27 наименований, из них 6 на иностранном языке.

Графическая часть состоит из 6 чертежей формата А1.

## **Abstract**

In the final qualifying work, a project was carried out to reconstruct the power supply system of an urban-type settlement located in the Samara region of the Russian Federation

To achieve the goals set in the final qualification work, the following were performed: calculation of electrical loads before reconstruction, lighting calculation of the street lighting system, calculation of electrical loads after reconstruction, selection of power transformers for village substations, selection of cable lines, selection of switching devices. To assess the effectiveness of the activities carried out in the final qualification work, the calculation of energy efficiency indicators of the power supply system of an urban-type settlement was performed.

The final qualification work consists of text and graphic parts. The text part is an explanatory note in 55 number of sheets. The explanatory note contains 4 figures and 9 tables in addition to the text. The list of sources used includes 27 titles, 6 of them in a foreign language.

The graphic part consists of 6 A1 drawings.

## Содержание

Введение.....	5
1 Краткая характеристика объекта реконструкции .....	7
2 Определение расчетных электрических нагрузок поселка городского типа до реконструкции .....	9
2.1 Расчетные электрические нагрузки жилых зданий .....	9
2.2 Расчетные электрические нагрузки общественных зданий.....	11
2.3 Расчет электрических нагрузок сети уличного освещения .....	12
3 Выбор светильников для системы уличного освещения .....	16
4 Определение электрических нагрузок поселка городского типа после реконструкции системы уличного освещения поселка городского типа.....	19
5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для поселковой подстанции .....	22
5.1 Выбор питающего напряжения для системы электроснабжения поселка городского типа .....	22
5.2 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов поселковой подстанции.....	22
6 Расчет системы компенсации реактивной мощности .....	28
7 Выбор кабельных линий для электроснабжения потребителей поселка городского типа. Определение типа схемы электроснабжения .....	30
8 Расчет токов короткого замыкания системы электроснабжения поселка городского типа .....	35
9 Выбор коммутационных аппаратов для системы электроснабжения поселка городского типа .....	41
10 Расчет показателей энергоэффективности системы электроснабжения поселка городского типа.....	46
Заключение .....	52
Список используемой литературы .....	53

## Введение

В настоящее время населенные пункты становятся потребителями электроэнергии, которые по величине установленной мощности становятся сравнимы с промышленными предприятиями. Если на рубеже двадцатого и двадцать первого веков в жилых домах печенье устройств, работающих за счет электроэнергии был достаточно ограниченным, то в современных жилых домах имеется большое количество самых разных электроприемников: большое количество бытовой электроники, различных нагревательных приборов, устройств, имеющих в своем составе электродвигатели. Имеется множество санитарно-технических электроприемников, электроприводы лифтовых установок, системы пожаротушения и прочие электроприемники. В современных общественных зданиях, также как и в жилых, имеется множество электроприемников: системы кондиционирования, освещения, вентиляции, множество ЭВМ, промышленной электроники.

Все это приводит к тому, что системы электроснабжения населенных пунктов требуют реконструкции, т.к. их оборудование не способно выдерживать актуальную токовую нагрузку, обусловленную большим скоплением электроприемников жилых и общественных зданий современных населенных пунктов.

Таким образом, в данной выпускной квалификационной работе необходимо выполнить проект реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа, находящегося на территории Самарской области. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующее:

- определить электрические нагрузки до реконструкции системы электроснабжения;
- выбрать светильники для системы уличного освещения;
- определить электрические нагрузки после реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа;

- выбрать марку, число и мощность силовых трансформаторов для поселковых подстанций;
- рассчитать и выбрать мощность конденсаторной батареи для системы компенсации реактивной мощности;
- определить тип электрической схемы, применимой для системы электроснабжения поселка городского типа;
- выбрать марки кабелей для соединения потребителей поселка городского типа с поселковыми подстанциями;
- определить токи короткого замыкания в системе электроснабжения;
- выбрать коммутационные аппараты для системы электроснабжения поселка городского типа;
- определить показатели энергоэффективности системы электроснабжения поселка городского типа.

## 1 Краткая характеристика объекта реконструкции

Объектом реконструкции выступает система электроснабжения поселка городского типа, находящегося на территории Самарской области. План поселка городского типа приведен на рисунке 1.

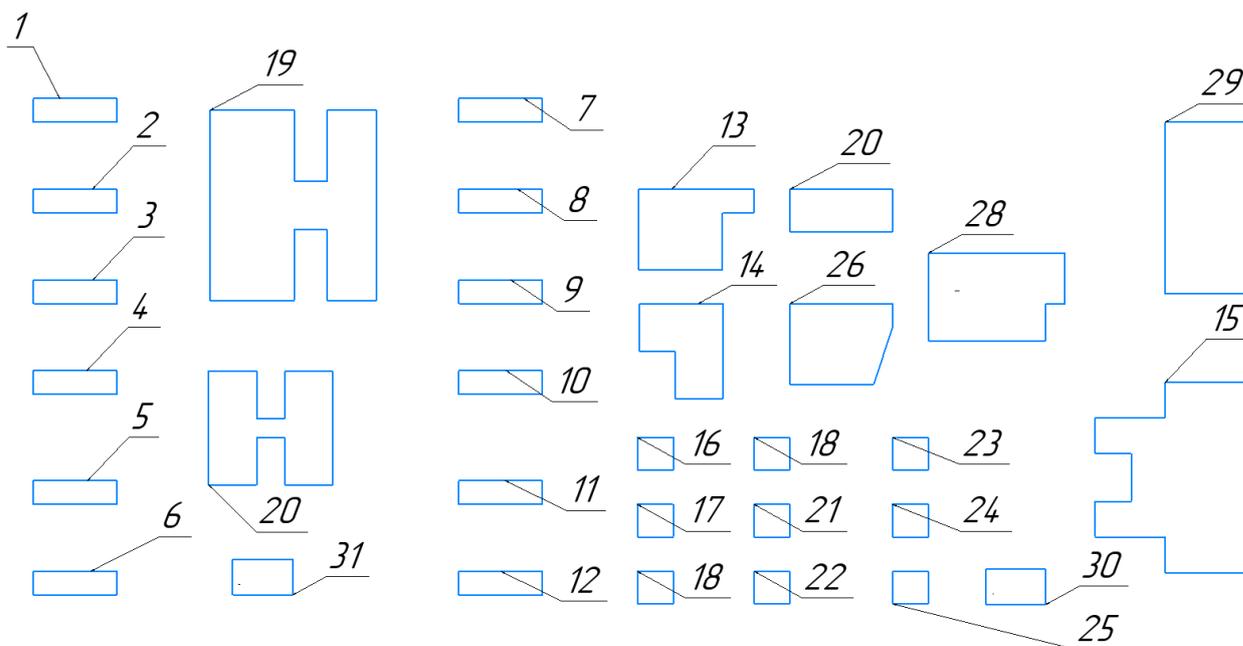


Рисунок 1 – План поселка городского типа

Поселок городского типа включает в себя 12 многоквартирных домов высотой 5 этажей, 9 малоэтажных домов (высота два этажа), 2 продовольственных магазина, промтоварный магазин, кафе, столовая, гаражный кооператив, поликлиника, школа и детский сад. Население поселка равно 3000 человек.

Электроснабжение потребителей поселка городского типа обеспечивают две поселковые подстанции. Перечень объектов поселка городского типа показан в таблице 1 с указанием номеров на плане.

Таблица 1 – Перечень объектов поселка городского типа

Номер на плане	Наименование
1	Многоквартирный дом № 1
2	Многоквартирный дом № 2
3	Многоквартирный дом № 3
4	Многоквартирный дом № 4
5	Многоквартирный дом № 5
6	Многоквартирный дом № 6
7	Многоквартирный дом № 7
8	Многоквартирный дом № 8
9	Многоквартирный дом № 9
10	Многоквартирный дом № 10
11	Многоквартирный дом № 11
12	Многоквартирный дом № 12
13	Продовольственный магазин №1
14	Промтоварный магазин
15	Поликлиника
16	Жилой дом № 1
17	Жилой дом № 2
18	Жилой дом № 3
19	Жилой дом № 4
20	Школа
21	Детский сад
22	Кафе
23	Жилой дом № 5
24	Жилой дом № 6
25	Жилой дом № 7
26	Жилой дом № 8
27	Жилой дом № 9
28	Продовольственный магазин № 2
29	Столовая
30	Гаражный кооператив
31	КТП №1
32	КТП №2

Выводы по разделу 1. В данном разделе мы получили данные по объекту, где будет проводиться реконструкция системы электроснабжения. Поселок включает в себя 12 многоквартирных домов высотой 5 этажей, 9 малоэтажных домов (высота два этажа), 2 продовольственных магазина, промтоварный магазин, кафе, столовая, гаражный кооператив, поликлиника, школа и детский сад. Далее необходимо перейти к определению расчетных электрических нагрузок поселка городского типа.

## 2 Определение расчетных электрических нагрузок поселка городского типа до реконструкции

### 2.1 Расчетные электрические нагрузки жилых зданий

Рассчитаем электрическую нагрузку многоквартирного дома №1. Сначала необходимо определить величину активной мощности, потребляемой электроприемниками квартир дома. Для расчета используется формула (1) [6]:

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

где  $P_{\text{кв. уд.}}$  – удельная мощность электроприемников квартир, определяемых по таблице 6.1[5];  
 $n$  – число квартир в многоквартирном доме.

Подставив нужные значения в формулу (1), получаем:

$$P_{\text{кв.}} = 1,2 \cdot 40 = 48 \text{ кВт.}$$

Помимо электроприемников квартир, к которым относится розеточная сеть в квартирах в многоквартирном доме имеются силовые электроприемники: лифтовые установки и электродвигатели санитарно-технических устройств. Конкретно в данном случае в многоквартирном доме лифтовых установок не имеется, но имеются электродвигатели санитарно-технических устройств. Для определения потребляемой ими активной мощности следует использовать формулу (2):

$$P_{\text{СТУ}} = k_c \sum P_{\text{СТУ уст.}} \quad (2)$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса санитарно-технических устройств, используемых в многоквартирном доме;

$P_{\text{СТУ уст.}}$  – установленная мощность электродвигателей санитарно-технических устройств, кВт.

Подставляя нужные значения в формулу (2) получаем:

$$P_{\text{СТУ}} = 0,5 \cdot (2 + 2) = 2 \text{ кВт.}$$

Теперь следует определить расчетную активную мощность на вводе распределительного устройства в жилом доме, для этого необходимо использовать формулу (3):

$$P_{\text{ВРУ}} = P_{\text{кв.}} + P_{\text{СТУ}} \quad (3)$$

Подставляя полученные по формулам (1) и (2) значения в формулу (3) получаем:

$$P_{\text{ВРУ}} = 48 + 2 = 50 \text{ кВт.}$$

Теперь нужно рассчитать величину полной мощности на вводе распределительного устройства, для этого нужно использовать формулу (4) [6]:

$$S_{\text{ВРУ}} = \frac{P_{\text{ВРУ}}}{\cos \varphi} \quad (4)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности в электрической сети многоквартирного дома, задается равным 0,85.

Подставляя нужные значения в формулу (4) получаем:

$$S_{\text{ВРУ}} = \frac{50}{0,85} = 58 \text{ кВА.}$$

Зная полную мощность, мы можем определить значение силы тока на вводе распределительного устройства многоквартирного дома, для этого используется формула (5):

$$I_{ВРУ} = \frac{S_{ВРУ}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (5)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение на вводе распределительного устройства многоквартирного дома, в расчете принимается равным 0,4 кВ.

Подставляя значение полной мощности, полученное по формуле (4) и значение номинального напряжения на вводе распределительного устройства многоквартирного дома получаем:

$$I_{ВРУ} = \frac{58}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 88 \text{ А.}$$

На этом расчет электрических нагрузок многоквартирного дома №1 заканчивается. Расчет электрических нагрузок остальных жилых зданий поселка городского типа ведется аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 1.

## **2.2 Расчетные электрические нагрузки общественных зданий**

Рассчитаем электрическую нагрузку гаража. Для начала следует определить расчетную активную мощность розеточной сети гаража. Для этого используем формулу (6):

$$P_{р.р.} = K_c P_{ус.н} \quad (6)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса, принимается по таблице 6.6. из [18];

$P_{уд.}$  – установленная мощность одной розетки, принимается равной 0,06 кВт, кВт;  
 $n$  – число розеток в сети.

Используя исходные данные определяем расчетную активную мощность розеточной сети гаража по формуле (6):

$$P_{р.р.} = 0,4 \cdot 0,06 \cdot 80 = 2 \text{ кВт.}$$

Теперь определим полную мощность на вводе распределительного устройства гаража, для этого используем формулу (4):

$$S_{ВРУ} = \frac{2}{0,85} = 2,3 \text{ кВА.}$$

Теперь мы можем определить значение силы тока на вводе распределительного устройства гаража, для этого используем формулу (5):

$$I_{ВРУ} = \frac{2,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3,4 \text{ А.}$$

На этом расчет электрических нагрузок гаража заканчивается. Расчет электрических нагрузок остальных общественных зданий ведется аналогично. Результаты расчета электрических нагрузок сведены в таблицу 1.

### **2.3 Расчет электрических нагрузок сети уличного освещения**

Сначала нужно определить расчетную активную мощность сети уличного освещения поселка городского типа. Сначала следует определить установленную активную мощность сети уличного освещения. Для этого нужно использовать формулу (7):

$$P_{y.o.} = P_l n_c \quad (7)$$

где  $P_l$  – мощность лампы одного светильника сети уличного освещения;  
 $n_c$  – число ламп светильников уличного освещения.

Используя исходные данные определяем установленную активную мощность сети уличного освещения поселка городского типа:

$$P_{y.o.} = 0,25 \cdot 570 = 143 \text{ кВт.}$$

Зная установленную активную мощность можно определить расчетную активную мощность сети уличного освещения, для этого задействуется формула (8):

$$P_{расч.у} = P_{y.o.} K_c \quad (8)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса сети уличного освещения принимается по [18].

Подставляя нужные значения определяем расчетную активную мощность сети уличного освещения:

$$P_{расч.у} = 143 \cdot 1,1 = 157 \text{ кВт.}$$

Теперь следует определить расчетную реактивную мощность сети уличного освещения, для этого используется формула (9):

$$Q_{расч.у} = P_{у.уд} K_c tg \varphi \quad (9)$$

где  $tg \varphi$  – коэффициент реактивной мощности, принимается согласно [18].

Подставляя нужные значения в формулу (9) получаем:

$$Q_{\text{расч.у}} = 143 \cdot 1,1 \cdot 0,61 = 95 \text{ квар.}$$

Теперь мы можем определить расчетную полную мощность сети уличного освещения поселка городского типа, для этого задействуется формула (10):

$$S_{\text{расч.у}} = \sqrt{P_{\text{расч.у}}^2 + Q_{\text{расч.у}}^2} \quad (10)$$

Подставляя нужные значения в формулу (10) получаем:

$$S_{\text{расч.у}} = \sqrt{157^2 + 95^2} = 183 \text{ кВА.}$$

Теперь следует определить силу тока на шинах поселковой трансформаторной подстанции, для этого задействуется формула (11):

$$I_{\text{расч.у}} = \frac{S_{\text{расч.у}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (11)$$
$$I_{\text{расч.у}} = \frac{183}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 480 \text{ А.}$$

Расчет нагрузок сети уличного освещения завершен. Результаты расчета электрических нагрузок сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета электрических нагрузок поселка городского типа до реконструкции

Наименование	$P_p$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
Многоквартирный дом № 1	50	0,89	56	81
Многоквартирный дом № 2	49	0,89	55	80

Продолжение таблицы 2

Наименование	$P_p$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
Многоквартирный дом № 3	49	0,89	55	80
Многоквартирный дом № 4	49	0,89	55	80
Многоквартирный дом № 5	49	0,89	55	80
Многоквартирный дом № 6	64	0,89	72	104
Многоквартирный дом № 7	64	0,89	72	104
Многоквартирный дом № 8	64	0,89	72	104
Многоквартирный дом № 9	64	0,89	72	104
Многоквартирный дом № 10	64	0,89	72	104
Многоквартирный дом № 11	64	0,89	72	104
Многоквартирный дом № 12	64	0,89	72	104
Продовольственный магазин №1	35	0,81	43	62
Промтоварный магазин	6	0,88	7	10
Поликлиника	82	0,80	103	148
Жилой дом № 1	33	0,89	37	54
Жилой дом № 2	33	0,89	37	54
Жилой дом № 3	33	0,89	37	54
Жилой дом № 4	33	0,89	37	54
Школа	77	0,81	95	137
Детский сад	45	0,83	54	78
Кафе	68	0,80	85	122
Жилой дом № 5	33	0,89	37	54
Жилой дом № 6	33	0,89	37	54
Жилой дом № 7	33	0,89	37	54
Жилой дом № 8	33	0,89	37	54
Жилой дом № 9	33	0,89	37	54
Продовольственный магазин № 2	32	0,80	40	57
Столовая	88	0,78	112	161
Уличное освещение	157	0,65	183	480
Гаражный кооператив	2	0,85	2,3	3,4
Всего	1583	0,82	1837	2873

Выводы по разделу 2. В данном разделе ВКР определены расчетные электрические нагрузки электроприемников всех типов зданий: жилых и общественных; также определена электрическая нагрузка сети уличного освещения. Полученные данные будут использованы для выбора силовых кабелей системы электроснабжения поселка городского типа.

### 3 Выбор светильников для системы уличного освещения

К системе уличного освещения предъявляется ряд требований [18]:

- интенсивность освещения – должна быть достаточной, для безопасного движения пешеходов и транспорта;
- равномерность освещения – освещение должно быть таким, чтобы избежать неосвещенных участков на асфальте;
- энергоэффективность – затраты электроэнергии на освещение должны быть максимально низкими;
- срок службы – светильники системы уличного освещения должны иметь достаточный срок службы.

Учитывая все вышеприведенные требования, для «освещения территории поселка городского типа следует рассмотреть светодиодные светильники. Такие светильники обладают высокой интенсивностью освещения, обладают высокими показателями энергоэффективности, а также обладают высоким сроком службы» [5].

Теперь, используя метод коэффициента светового потока, выполним расчет системы уличного освещения.

Предварительно примем к рассмотрению светильник TITAN ZNT 60 производства ООО «Волжский светотехнический завод». Среднее расстояние между светильниками примем равным 20 м, высоту опоры светильника – 10 м.

Теперь необходимо определить необходимый световой поток для обеспечения требуемого стандартами уровня освещенности на один квадратный метр, для этого задействуется формула (12):

$$\Phi_{л} = \frac{Lk\pi}{n_L} \quad (12)$$

где  $L$  – нормируемая яркость света, кд/м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент запаса;

$n_L$  – коэффициент использования по яркости.

Используя формулу (12) определяем необходимый световой поток для освещения одного квадратного метра:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{0,3 \cdot 1,2 \cdot \pi}{0,056} = 21 \text{ Лм}$$

Теперь нужно определить, какую площадь может осветить выбранный нами светильник. Для этого используется формулу (13):

$$S_0 = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\text{л}}} \quad (13)$$

где  $\Phi_{\text{св}}$  – световой поток выбранного светильника, Лм.

Используя формулу (13) определяем площадь, которую способен осветить выбранный нами светильник:

$$S_0 = \frac{8600}{21} = 409 \text{ м}^2$$

Теперь определим необходимое число светильников для освещения всей площади поселка городского типа. Для этого используется формула (14):

$$n_{\text{св}} = \frac{F_{\text{мкр}}}{S_0} \quad (14)$$

где  $F_{\text{мкр}}$  – площадь поселка городского типа, м<sup>2</sup>.

Используя формулу (14) определяем необходимое число светильников для освещения всей площади поселка городского типа:

$$n_{\text{св}} = \frac{152000}{409} = 371$$

На этом расчет заканчивается.

Выводы по разделу 3. Таким образом, нами выполнен расчет системы уличного освещения с использованием метода коэффициента светового потока. В ходе расчета нам удалось установить необходимое число светильников для организации освещения в поселке городского типа – 371 единица, что существенно меньше, чем в существующей системе уличного освещения.

Для организации уличного освещения приняты светодиодные светильники, отличающиеся повышенным сроком службы, высокой светоотдачей и низким потреблением мощности. Тип светильников – ТИТАН ZNT

Полученные результаты расчета понадобятся при пересчете электрических нагрузок поселка городского типа после реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа.

Далее следует перейти к расчету электрических нагрузок поселка городского типа после реконструкции.

#### 4 Определение электрических нагрузок поселка городского типа после реконструкции системы уличного освещения поселка городского типа

В ходе работы над проектом реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа нами были выбраны другие, более экономичные светильники для системы уличного освещения поселка городского типа. В связи с этим, электрические нагрузки объекта реконструкции изменятся. Таким образом, нам необходимо повторить расчет электрических нагрузок для системы уличного освещения [7], [14].

Определим установленную активную мощность реконструированной сети уличного освещения. Для этого нужно использовать формулу (7) [7], [24]:

Используя исходные данные определяем установленную активную мощность сети уличного освещения поселка городского типа:

$$P_{y.o.} = 0,060 \cdot 371 = 23 \text{ кВт.}$$

Теперь определяем расчетную активную мощность сети уличного освещения по формуле (8):

$$P_{расч.y} = 23 \cdot 1,1 = 25,3 \text{ кВт.}$$

По формуле (9) определяем расчетную реактивную мощность, потребляемую выбранными светильниками:

$$Q_{расч.y} = 23 \cdot 1,1 \cdot 0,28 = 7 \text{ квар.}$$

По формуле (10) определяем расчетную полную мощность системы уличного освещения:

$$S_{\text{расч.у}} = \sqrt{23^2 + 7^2} = 24 \text{ кВА.}$$

Теперь по формуле (11) определим расчетную силу тока на шинах поселковой подстанции, обусловленную системой уличного освещения:

$$I_{\text{расч.у}} = \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 63 \text{ А.}$$

Теперь необходимо определить совокупную электрическую нагрузку на шинах поселковой подстанции с учетом реконструированной системы уличного освещения поселка городского типа. Для этого следует суммировать полученное с помощью формулы (10) значение с значением, расчетной полной нагрузкой по всей системе электроснабжения, которое берется из таблицы 1. Таким образом, расчетная формула для определения полной нагрузки на шинах поселковой подстанции после реконструкции системы уличного освещения будет выглядеть так (15):

$$S_{\text{расч.р}} = S_{\Sigma} + S_{\text{расч.у}} \quad (15)$$

где  $S_{\Sigma}$  – активная мощность на шинах поселковой подстанции, без учета мощности системы уличного освещения, кВА.

Используя формулу (15) определяем активную мощность на шинах поселковой подстанции после реконструкции системы уличного освещения:

$$S_{\text{расч.р}} = 1400 + 24 = 1424 \text{ кВА}$$

Теперь следует определить токовую нагрузку на шинах поселковой подстанции с использованием выражения (16):

$$I_{\text{расч.р}} = \frac{S_{\text{расч.р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (16)$$

Используя формулу (16), определяем токовую нагрузку на шинах поселковой подстанции:

$$I_{\text{расч.р}} = \frac{1424}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2057 \text{ А}$$

Выводы по разделу 4. В данном разделе нами выполнен пересчет электрических нагрузок системы электроснабжения поселка городского типа с учетом реконструкции системы уличного освещения. Определена установленная, а также расчетная полная и токовая нагрузка на шинах поселковой подстанции. В результате расчета заметно, что существенно снизилась токовая нагрузка на шины поселковой подстанции, а значит, потребление электроэнергии потребителями поселка городского типа также снизилось.

Далее следует перейти к выбору числа и мощности силовых трансформаторов для поселковой подстанции.

## **5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для поселковой подстанции**

### **5.1 Выбор питающего напряжения для системы электроснабжения поселка городского типа**

Согласно источника [19] «Выбор питающего напряжения для систем электроснабжения различных объектов, в том числе и населенных пунктов, выбирается исходя из ряда критериев, главные из которых это потребляемая объектом мощность и напряжение сетей энергосистемы в рассматриваемом районе» [19]. В случае, рассматриваемом в ВКР, рядом с поселком городского типа имеется подстанция 110/10 кВ. В соответствии с [19] к сетям класса напряжения 10 кВ возможно подключать потребителей небольшой мощности. Совокупная полная мощность потребителей, расположенных в поселке городского типа составляет 1837 кВА, что является допустимым для питания поселковой подстанции от сети класса напряжения 10 кВ.

### **5.2 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов поселковой подстанции**

Согласно [9] силовые трансформаторы подстанций, расположенных в населенных пунктах, выступают основными источниками питания потребителей классов напряжения 0,22 и 0,4 кВ. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для цеховых, квартальных и поселковых подстанций осуществляется по следующим критериям [9]:

- категория по надежности электроснабжения;
- величина расчетной электрической нагрузки, подключенной к шинам низкого напряжения подстанции;
- класс напряжения питаемых потребителей;
- условия окружающей среды, в которых находится подстанция.

На текущий момент на территории поселка городского типа эксплуатируется две поселковых двухтрансформаторных подстанции с высшим напряжением 6 кВ и мощностью трансформаторов 400 кВА каждый.

Для того, чтобы выбрать новые силовые трансформаторы нужно выполнить ряд расчетов. Начать нужно с определения плотности загрузки поселка городского типа (17)[27]:

$$\sigma = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\text{пгт}}} \quad (17)$$

где  $S_{\Sigma}$  – совокупная полная мощность потребителей расположенных в поселке городского типа, кВА;

$F_{\text{пгт}}$  – площадь поселка городского типа, м<sup>2</sup>.

Подставляя нужные значения в формулу (17), находим плотность загрузки поселка городского типа:

$$\sigma = \frac{1424}{152000} = 0,0093 \text{ кВА/м}^2$$

Исходя из полученного значения плотности загрузки, для поселковых подстанций можно применить силовые трансформаторы мощностью менее 1000 кВА.

Теперь необходимо распределить потребителей, расположенных на территории поселка городского типа между поселковыми подстанциями. Распределение приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение потребителей между поселковыми подстанциями

№ ТП	Потребители
1	Жилые дома №1-9
	Кафе
	Столовая
	Продовольственный магазин №2

Продолжение таблицы 3

№ ТП	Потребители
1	Поликлиника
	Гаражный кооператив
	Уличное освещение
2	Многоквартирные дома №1-12
	Детский сад
	Школа
	Продовольственный магазин №1
	Промтоварный магазин

На рисунке 2 показано расположение поселковых подстанций на территории поселка городского типа.

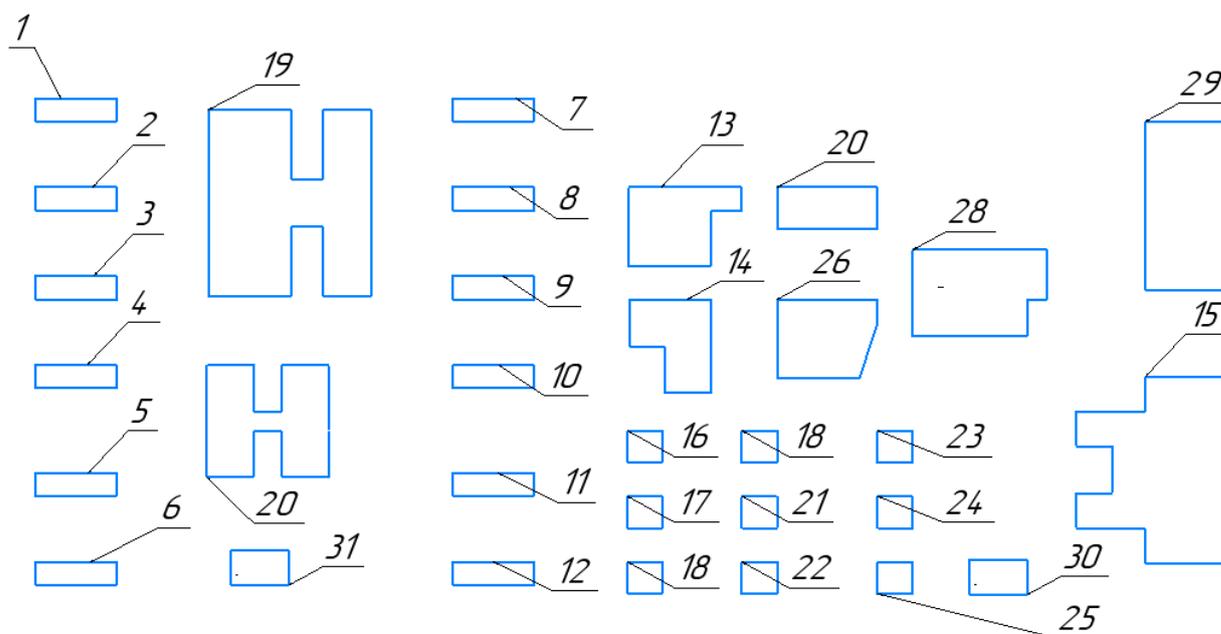


Рисунок 2 – Расположение поселковых подстанций, обозначены номерами 30 и 31

Далее нужно определить мощности силовых трансформаторов, которые будут установлены на подстанциях. Для этого задействуется формула (18):

$$S_T = \frac{S_{рТП}}{n \cdot k_3} \quad (18)$$

где  $S_{pТП}$  – «полная мощность, потребителей, подключенных к шинам низкого напряжения подстанции, кВА;  
 $n$  – число силовых трансформаторов;  
 $k_3$  – коэффициент загрузки силовых трансформаторов» [7].

Подставляя нужные значения в формулу (18), определяем необходимую мощность силовых трансформаторов для каждой подстанции:

$$S_{Т1} = \frac{930}{2 \cdot 0,7} = 664 \text{ кВА},$$

$$S_{Т2} = \frac{494}{2 \cdot 0,7} = 352 \text{ кВА}.$$

Теперь с учетом факторов окружающей среды, и класса напряжения питаемых потребителей выбираем силовые трансформаторы для поселковых подстанций. Результаты выбора показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора силовых трансформаторов для поселковых подстанций

Марка трансформатора	Номинальная полная мощность, кВА	Номинальные напряжения ВН/НН, кВ	Место установки	Производитель
ТМГ-1000/10	1000	10/0,4	КТП-1	ООО Гольяттинский трансформатор
ТМГ-1000/10	1000	10/0,4	КТП-1	ООО Гольяттинский трансформатор
ТМГ-630/10	630	10/0,4	КТП-2	ООО Гольяттинский трансформатор
ТМГ-630/10	630	10/0,4	КТП-2	ООО Гольяттинский трансформатор

Теперь необходимо определить потери активной и реактивной мощности в выбранных силовых трансформаторах. Для этого задействуются формулы (19) и (20):

$$\Delta P_T = N_T (\Delta P_{xx} + K_3^2 \Delta P_{кз}) \quad (19)$$

где  $N_T$  – число силовых трансформаторов установленных на подстанции;

$\Delta P_{xx}$  – активные потери холостого хода силового трансформатора согласно его паспорту, кВт

$K_3$  – коэффициент загрузки силового трансформатора;

$\Delta P_{кз}$  – активные потери короткого замыкания силового трансформатора согласно его паспорту, кВт.

$$\Delta Q_T = N_T (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \frac{S_T}{100} \quad (20)$$

где  $i_0$  – ток холостого хода силового трансформатора согласно его паспорту, %;

$U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания силового трансформатора согласно его паспорту, %.

Используя формулы (19) и (20) определим потери в силовых трансформаторах КТП №1:

$$\Delta P_T = 2 \cdot (1,75 + 0,7^2 \cdot 10,2) = 13 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (0,1 + 0,7^2 \cdot 10,5) \frac{1000}{100} = 105 \text{ квар.}$$

Потери в силовых трансформаторах КТП-2 определяются аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета активных и реактивных потерь в выбранных силовых трансформаторах

Марка трансформатора	Место установки	Активные потери, кВт	Реактивные потери, квар
ТМГ-1000/10	КТП-1	13	105
ТМГ-1000/10	КТП-1	13	105
ТМГ-630/10	КТП-2	8	95
ТМГ-630/10	КТП2	8	95

На этом выбор силовых трансформаторов закончен.

Выводы по разделу 5. В соответствии с категорией надежности и известной плотности загрузки поселка городского типа выполнен выбор трансформаторов КТП-1, КТП-2, КТП-3. Рассчитаны активные и реактивные потери в выбранных силовых трансформаторах. Полученные в ходе расчетов данные понадобятся при технико-экономическом расчете эффективности реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа.

В данном разделе нами выбраны два силовых трансформатора для поселковой подстанции.

## 6 Расчет системы компенсации реактивной мощности

Согласно источнику [12] «Реактивная мощность – мощность, расходуемая различными элементами системы электроснабжения для создания электромагнитного поля» [12]. А согласно источнику [16]: «К таким электроприемникам можно отнести силовые трансформаторы и асинхронные двигатели, которым для создания магнитного поля необходима реактивная мощность. Наличие реактивной мощности в сети приводит к снижению пропускной способности линий системы электроснабжения по активной мощности, а также обеспечивает существенное падение напряжения в сети» [16]. В связи с этим, для обеспечения пропуска активной мощности по линиям системы электроснабжения реактивную мощность стремятся генерировать по месту ее потребления. Касательно систем электроснабжения жилых поселений, средства компенсации реактивной мощности размещают на квартальных подстанциях [12], [16].

Теперь, нам необходимо определить потребность системы электроснабжения поселка городского типа в компенсации реактивной мощности. Для этого необходимо определить текущий коэффициент реактивной мощности на шинах поселковой подстанции. Нам известен средневзвешенный коэффициент активной мощности, с использованием таблиц [15], [16] мы можем определить эквивалентный коэффициент реактивной мощности, он равен 0,62. Желаемый коэффициент реактивной мощности составляет 0,32. Теперь необходимо задействовать формулу (21), для того, чтобы определить необходимую мощность средства компенсации реактивной мощности [16]:

$$Q_c = P_p \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (21)$$

где  $tg\varphi_1$  – существующий коэффициент реактивной мощности;

$tg\varphi_2$  – требуемый коэффициент реактивной мощности.

Используя формулу (21) определяем необходимую мощность средств компенсации реактивной мощности:

$$Q_c = 1583 \cdot (0,62 - 0,32) = 474 \text{ квар}$$

Зная величину реактивной мощности, которую необходимо компенсировать, можно выбрать устройство для компенсации реактивной мощности. К применению выбираем установку компенсации реактивной мощности КУ-500 производства ОАО «Новосибирский завод конденсаторных установок».

Выводы по разделу 6. В данном разделе нами выбрано средство компенсации реактивной мощности для рассматриваемого поселка городского типа. Выбрано устройство типа КУ-500. Таким образом достигнута разгрузка внешней системы электроснабжения, которая питает поселковую подстанцию на 500 квар.

## **7 Выбор кабельных линий для электроснабжения потребителей поселка городского типа. Определение типа схемы электроснабжения**

От выбора типа схемы питания потребителей зависят главным образом надежность функционирования, а также технико-экономические параметры системы электроснабжения объекта. При выборе схемы стоит обращать внимание на категоричность электроприемников, а также их распределение по площади объекта существуют «три вида схем электроснабжения:

- радиальная;
- магистральная;
- смешанная» [10].

Первая схема применима при малом числе электроприемников на объекте, либо для питания электроприемников высокой значимости. Недостатком этого типа схемы является повышенный в сравнении с другими типами схем расход кабельно-проводниковой продукции. Магистральные схемы более экономичны в сравнении с радиальными [1]. Применяются для питания объектов с большой плотностью электроприемников. Но обладают недостатком в сравнении с радиальными схемами – при аварии на магистральном кабеле отключатся от сети все присоединенные к ней электроприемники. Третий тип схемы наиболее распространенный, так как совмещает в себе преимущества двух предыдущих схем – простоту магистральной схемы и надежность радиальной схемы. Применительно к поселку городского типа подойдет смешанная схема в силу следующих обстоятельств [21], [22]:

- большинство электроприемников поселка городского типа имеют вторую категорию по надёжности электроснабжения, но есть ряд потребителей, отнесенных к первой категории, использование магистральной схемы недопустимо;

- застройка микрорайона имеет высокую плотность, использование радиальной схемы недопустимо.

На рисунке 3 показана схема системы электроснабжения поселка городского типа.

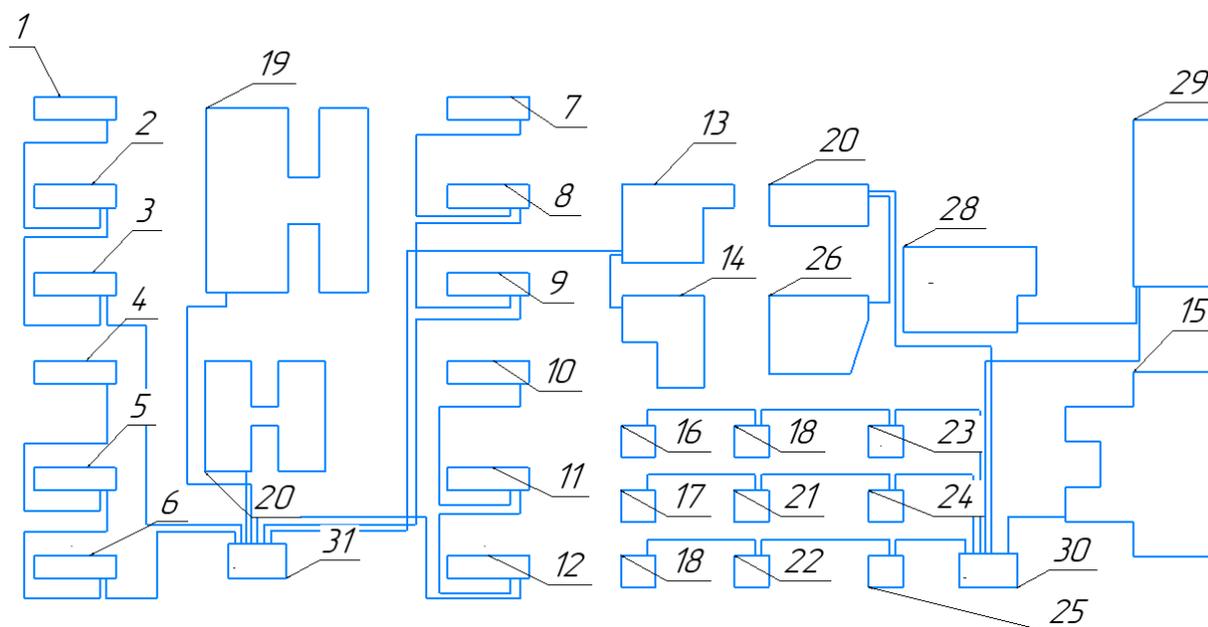


Рисунок 3 – Схема электрической сети поселка городского типа

Теперь необходимо перейти к вопросу выбора кабельных линий для организации электроснабжения потребителей поселка городского типа. Кабельные линии обеспечивают электрическую связь между источниками и приемниками электроэнергии. При выборе кабелей обращают внимание на следующие факторы:

- способ прокладки кабельной линии;
- условия окружающей среды;
- величина токовой нагрузки потребителя, которого необходимо подключить к источнику питания;
- класс напряжения системы электроснабжения.

В качестве примера выберем кабель для электроснабжения многоквартирного дома №1.

Первоначально нужно определить способ прокладки кабелей. Наиболее экономичный способ прокладки – в земле. Укладка кабелей в специализированных инженерных сооружениях – галереях, эстакадах применяется в случаях, когда в землю возможно попадание агрессивных химических веществ, способных нанести урон кабелям, есть возможность механического повреждения. При наличии технологических эстакад прокладка кабелей возможна на них. В поселке городского типа не имеется риска попадания в землю агрессивных химических веществ, риск механического повреждения минимален, а значит прокладка в земле допустима.

Величина токовой нагрузки потребителей, которых кабельная линия соединяет с источником питания, влияет на его нагрев. Чем выше токовая нагрузка, тем больше должно быть сечение. Сечение выбирается по [8]. Согласно [10] при силе тока на вводно-распределительном устройстве многоквартирного дома №1 в 81 А, и последовательно подключенных вводно-распределительных устройств жилых домов №2-4, токовая нагрузка которых составляет 80 А каждого сечение кабеля должно составлять 10 мм<sup>2</sup>. Таким образом, нам подходит кабель типа ВВг-3х10 производства ООО «Камский кабель». Выбор кабелей для остальных потребителей поселка городского типа выбирается по аналогии. Перечень выбранных кабелей показан в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора кабелей

Наименование кабельной линии	Токовая нагрузка потребителей кабельной линии, А	Тип кабеля	Производитель кабеля
КТП-1-жилой дом №1	162	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
Жилой дом №1-жилой дом №2	108	ВВг-3×50	ООО «Камский кабель»
Жилой дом №2-жилой дом №3	54	ВВг-3×16	ООО «Камский кабель»
КТП-1-жилой дом №4	162	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»

Продолжение таблицы 6

Наименование кабельной линии	Токовая нагрузка потребителей кабельной линии, А	Тип кабеля	Производитель кабеля
Жилой дом №4-жилой дом №5	108	ВВг-3×50	ООО «Камский кабель»
Жилой дом №5-жилой дом №6	54	ВВг-3×16	ООО «Камский кабель»
КТП-1-жилой дом №7	162	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
Жилой дом №7-жилой дом №8	108	ВВг-3×50	ООО «Камский кабель»
Жилой дом №8-жилой дом №9	54	ВВг-3×16	ООО «Камский кабель»
КТП-1-столовая	283	2хВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
Столовая-кафе	122	ВВг-3×50	ООО «Камский кабель»
КТП-1-гаражный кооператив	160	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
Гаражный кооператив-продовольственный магазин №2	61	ВВг-3×16	ООО «Камский кабель»
КТП-1-поликлиника	148	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
КТП-2-многоквартирный дом №6	264	2хВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №6-многоквартирный дом №5	246	2хВВг-3×120	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №5-многоквартирный дом №4	80	ВВг-3×25	ООО «Камский кабель»
КТП-2-многоквартирный дом №3	240	ВВг-3×120	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №3-многоквартирный дом №2	160	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №2-многоквартирный дом №1	80	ВВг-3×25	ООО «Камский кабель»
КТП-2-детский сад	78	ВВг-3×25	ООО «Камский кабель»
КТП-2-школа	137	ВВг-3×70	ООО «Камский кабель»
КТП-2-многоквартирный дом №12	312	2хВВг-3×70	ООО «Камский кабель»

Продолжение таблицы 6

Наименование кабельной линии	Токовая нагрузка потребителей кабельной линии, А	Тип кабеля	Производитель кабеля
Многоквартирный дом №12-многоквартирный дом №11	246	ВВГ-3×120	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №11-многоквартирный дом №10	104	ВВГ-3×50	ООО «Камский кабель»
КТП-2-многоквартирный дом №9	312	2хВВГ-3×70	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №9-многоквартирный дом №8	246	ВВГ-3×120	ООО «Камский кабель»
Многоквартирный дом №8-многоквартирный дом №7	104	ВВГ-3×50	ООО «Камский кабель»
КТП-2-продовольственный магазин №1	67	ВВГ-3×16	ООО «Камский кабель»
Продовольственный магазин №1-промтоварный магазин	10	ВВГ-3×1,5	ООО «Камский кабель»

Выводы по разделу 7. В данном разделе нами произведен выбор кабелей для обеспечения электроснабжения потребителей, расположенных на территории поселка городского типа. Выбранные нами кабели соответствуют всем современным требованиям в области пожарной безопасности, а также безотказной работы. Выбранные кабели имеют современную конструкцию, изготовлены из современных материалов.

## 8 Расчет токов короткого замыкания системы электроснабжения поселка городского типа

Главной целью расчета токов короткого замыкания является определение величин токов, под которые следует выбрать коммутационные аппараты способные отключить поврежденный участок системы электроснабжения [12], [23], [27].

В качестве примера выполним расчет токов короткого замыкания для участка КТП-1-поликлиника. Расчет токов короткого замыкания будем проводить согласно [13].

Перед расчетом необходимо составить расчетную схему замещения. Схема представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема замещения для расчета токов короткого замыкания

Теперь следует определить активные сопротивления для каждого элемента схемы замещения системы электроснабжения рассматриваемого поселка городского типа. На первом этапе нам нужно определить активное сопротивление контактов коммутационного аппарата, установленного на поселковой подстанции от которого питается вводно-распределительное устройство поликлиники. Для этого используется формула (22) [13]:

$$r_k = c_0 r_{кном}, \quad (22)$$

где  $c_0$  – «коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления контактов при нагреве током короткого замыкания, принимается равным 1,5» [2];

$r_{\text{кном}}$  – активное сопротивление контактов при нормальных условиях, Ом.

Используя формулу (22) определяем активное сопротивление контактов коммутационного аппарата:

$$r_{\text{к}} = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ Ом.}$$

Далее нужно определить активное сопротивление кабельной линии, соединяющей источник электроэнергии с потребителем по формуле (23) [20]:

$$r_{\text{кл}} = r_{\text{пк}} l_{\text{к}}, \quad (23)$$

где  $r_{\text{пк}}$  – погонное активное сопротивление кабельной линии, Ом/км;

$l_{\text{к}}$  – длина кабельной линии, км.

Используя формулу (23) определяем активное сопротивление кабельной линии:

$$r_{\text{кл}} = 0,19 \cdot 0,025 = 0,0025 \text{ Ом.}$$

Теперь нужно определить активное сопротивление коммутационного аппарата, установленного в вводно-распределительном устройстве поликлиники, для этого задействуется формула (22):

$$r_{\text{к}} = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ Ом.}$$

Теперь нужно определить совокупное сопротивление участка, для этого вводится формула (24):

$$r_{\Sigma} = r_{\text{к}} + r_{\text{кл}} + r_{\text{к}} \quad (24)$$

Используя формулу (24), определяем совокупное сопротивление рассматриваемого участка:

$$r_{\Sigma} = 0,15 + 0,0025 + 0,15 = 0,3 \text{ Ом.}$$

Теперь переходим непосредственно к расчету значений токов короткого замыкания. Для начала определим периодическую составляющую тока короткого замыкания по формуле (25):

$$I_{п0} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot r_{\Sigma}}, \quad (25)$$

где  $U_{\text{ср}}$  – среднее номинальное напряжение сети, кВ.

Используя формулу (25) определяем периодическую составляющую тока короткого замыкания:

$$I_{п0} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,3} = 0,77 \text{ кА.}$$

Далее нужно определить апериодическую составляющую тока короткого замыкания по формуле (26):

$$i_{a0} = \sqrt{2I_{п0}}, \quad (26)$$

Используя формулу (26) определяем апериодическую составляющую тока короткого замыкания:

$$i_{a0} = \sqrt{2 \cdot 0,77} = 1,1 \text{ кА}$$

И наконец, определим ударный ток короткого замыкания, для этого задействуется формула (27):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} K_{уд}, \quad (27)$$

где  $K_{уд}$  – ударный коэффициент, принимается равным 1,1 в соответствии с расчетной кривой, показанной на рисунке 6.

Теперь с использованием формулы (27) определяем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 0,77 \cdot 1,1 = 1,2 \text{ кА}$$

Определение токов короткого замыкания для других участков системы электроснабжения поселка городского типа определяется по аналогии. Результаты, полученные в ходе расчета сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Участок	Периодическая составляющая тока короткого замыкания, кА	Апериодическая составляющая тока короткого замыкания, кА	Ударный ток короткого замыкания, кА
КТП-1-жилой дом №1	0,88	1,3	1,6
Жилой дом №1-жилой дом №2	0,88	1,3	1,6
Жилой дом №2-жилой дом №3	0,88	1,3	1,6
КТП-1-жилой дом №4	0,88	1,3	1,6
Жилой дом №4-жилой дом №5	0,88	1,3	1,6
Жилой дом №5-жилой дом №6	0,89	1,3	1,6
КТП-1-жилой дом №7	0,89	1,3	1,6
Жилой дом №7-жилой дом №8	0,89	1,3	1,6
Жилой дом №8-жилой дом №9	0,89	1,3	1,6
КТП-1-столовая	0,91	1,3	1,7
Столовая-кафе	1	1,4	1,8

Продолжение таблицы 7

Участок	Периодическая составляющая тока короткого замыкания, кА	Апериодическая составляющая тока короткого замыкания, кА	Ударный ток короткого замыкания, кА
КТП-1-гаражный кооператив	0,98	1,4	1,8
Гаражный кооператив-продовольственный магазин №2	0,98	1,4	1,8
КТП-1-поликлиника	0,77	1,1	1,2
КТП-2-многоквартирный дом №6	0,87	1,3	1,6
Многоквартирный дом №6-многоквартирный дом №5	0,87	1,3	1,6
Многоквартирный дом №5-многоквартирный дом №4	0,87	1,3	1,6
ТП-2-многоквартирный дом №3	0,87	1,3	1,6
Многоквартирный дом №3-многоквартирный дом №2	0,87	1,3	1,6
Многоквартирный дом №2-многоквартирный дом №1	0,87	1,3	1,6
КТП-2-детский сад	0,88	1,3	1,6
КТП-2-школа	0,88	1,3	1,6
КТП-2-многоквартирный дом №12	0,89	1,3	1,6
Многоквартирный дом №12-многоквартирный дом №11	0,89	1,3	1,6
Многоквартирный дом №11-многоквартирный дом №10	0,89	1,3	1,6
КТП-2-многоквартирный дом №9	0,89	1,3	1,6
Многоквартирный дом №9-многоквартирный дом №8	0,9	1,3	1,7
Многоквартирный дом №8-многоквартирный дом №7	0,89	1,3	1,6

Продолжение таблицы 7

Участок	Периодическая составляющая тока короткого замыкания, кА	Апериодическая составляющая тока короткого замыкания, кА	Ударный ток короткого замыкания, кА
КТП-2-продовольственный магазин №1	0,89	1,3	1,6
Продовольственный магазин №1-промтоварный магазин	0,87	1,3	1,6

Выводы по разделу 8. Итак, в данном разделе ВКР с использованием руководящих документов нами определены токи короткого замыкания в системе электроснабжения поселка городского типа: периодическая составляющая тока короткого замыкания, апериодическая составляющая тока короткого замыкания и ударный ток короткого замыкания. Наибольший интерес при проектировании систем электроснабжения гражданских объектов представляет значение тока ударного тока короткого замыкания. Наибольшее значение ударного тока короткого замыкания составляет 1,8 кА. При таких значениях ударного тока короткого замыкания его ограничение путем установки токоограничительных реакторов не требуется. Полученные в этом разделе ВКР значения токов короткого замыкания будут использованы при выборе коммутационных аппаратов, выбираемых для защиты системы электроснабжения поселка городского типа.

## 9 Выбор коммутационных аппаратов для системы электроснабжения поселка городского типа

Коммутационные аппараты – электротехнические устройства, предназначенные для включения и отключения электрических цепей в нормальных и аварийных режимах работы [2], [27].

Выбор коммутационных аппаратов для систем электроснабжения осуществляют по ряду критериев [2], [3]:

- напряжение системы электроснабжения;
- число фаз в системе электроснабжения;
- сила тока в нормальном режиме работы;
- сила тока в режиме короткого замыкания;
- условия окружающей среды.

В рамках ВКР нами выбираются коммутационные аппараты для поселковых подстанций, а также вводов распределительных устройств потребителей, расположенных на территории поселка городского типа.

Итак, для выбора коммутационных аппаратов следует использовать два нижеприведенных соотношения (28) и (29):

$$I_{\text{ном.КА}} \geq I_p, \quad (28)$$

где « $I_{\text{ном.КА}}$  – номинальный ток коммутационного аппарата, А;

$I_p$  – расчетный ток, проходящий через контакты коммутационного аппарата, А» [2].

$$I_{\text{откл.КА}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (29)$$

где « $I_{\text{откл.КА}}$  – ток короткого замыкания, который способен выдержать коммутационный аппарат, кА;

$i_{\text{уд}}$  – расчетный ударный ток короткого замыкания, кА» [2].

В качестве примера выберем коммутационный аппарат для линии КТП-1-жилой дом №1.

Теперь, основываясь на исходных данных для выбора коммутационных аппаратов (расчетный ток и ударный ток короткого замыкания) предварительно выбираем тип коммутационного аппарата. Выбираем трехфазный автоматический выключатель внутренней установки, рассчитанный на номинальное напряжение 0,4 кВ типа ВА-57-39 с номинальным током 250 А, и током короткого замыкания, который способен выдержать автоматический выключатель – 1,25 кА.

Теперь задействуем выражения (28) и (29):

$$250 \text{ A} \geq 162 \text{ A},$$

$$1,6 \text{ A} \geq 1,6 \text{ A}.$$

На этом выбор автоматического выключателя завершен. Выбор коммутационных аппаратов для других потребителей, расположенных в поселке городского типа выполняется аналогичным образом, а результаты выбора сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбранные коммутационные аппараты для системы электроснабжения поселка городского типа

Наименование кабельной линии	Тип коммутационного аппарата	Номинальное напряжение, кВ	Число фаз	Номинальный ток, А	Ток короткого замыкания, кА
КТП-1-жилой дом №1	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Жилой дом №1-жилой дом №2	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Жилой дом №2-жилой дом №3	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6

Продолжение таблицы 8

Наименование кабельной линии	Тип коммутационного аппарата	Номинальное напряжение, кВ	Число фаз	Номинальный ток, А	Ток короткого замыкания, кА
КТП-1-жилой дом №4	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Жилой дом №4-жилой дом №5	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Жилой дом №5-жилой дом №6	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
КТП-1-жилой дом №7	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Жилой дом №7-жилой дом №8	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Жилой дом №8-жилой дом №9	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
КТП-1-столовая	ВА-57-39	0,4	3	320	2,5
Столовая-кафе	ВА-57-39	0,4	3	250	2,5
КТП-1-гаражный кооператив	ВА-57-39	0,4	3	250	2,5
Гаражный кооператив-продовольственный магазин №2	ВА-57-39	0,4	3	250	2,5
КТП-1-поликлиника	ВА-57-39	0,4	3	250	1,25
КТП-2-многоквартирный дом №6	ВА-57-39	0,4	3	320	1,6
Многоквартирный дом №6-многоквартирный дом №5	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Многоквартирный дом №5-многоквартирный дом №4	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6

Продолжение таблицы 8

Наименование кабельной линии	Тип коммутационного аппарата	Номинальное напряжение, кВ	Число фаз	Номинальный ток, А	Ток короткого замыкания, кА
КТП-2-многоквартирный дом №3	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Многоквартирный дом №3-многоквартирный дом №2	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Многоквартирный дом №2-многоквартирный дом №1	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
КТП-2-детский сад	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
КТП-2-школа	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
КТП-2-многоквартирный дом №12	ВА-57-39	0,4	3	320	1,6
Многоквартирный дом №12-многоквартирный дом №11	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Многоквартирный дом №11-многоквартирный дом №10	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
КТП-2-многоквартирный дом №9	ВА-57-39	0,4	3	320	1,6
Многоквартирный дом №9-многоквартирный дом №8	ВА-57-39	0,4	3	250	2,5
Многоквартирный дом №8-многоквартирный дом №7	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6

Продолжение таблицы 8

Наименование кабельной линии	Тип коммутационного аппарата	Номинальное напряжение, кВ	Число фаз	Номинальный ток, А	Ток короткого замыкания, кА
КТП-2-продовольственный магазин №1	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6
Продовольственный магазин №1-промтоварный магазин	ВА-57-39	0,4	3	250	1,6

Выводы по разделу 9. Итак, в данном разделе нами осуществлен выбор коммутационных аппаратов для системы электроснабжения поселка городского типа. Наш выбор остановился на автоматических выключателях типа ВА-57-39 производства АО «Контактор», предприятия расположенного в г. Ульяновск. Данные автоматические выключатели отличаются высокой надежностью и хорошим эксплуатационным ресурсом, а также невысокой стоимостью, что делает их оптимальным вариантом для использования в системе электроснабжения поселка городского типа.

Следующим этапом, затрагиваемым в рамках ВКР, является определение технико-экономических показателей эффективности, которые достигаются за счет реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа [11].

## 10 Расчет показателей энергоэффективности системы электроснабжения поселка городского типа

Определим средневзвешенный КПД системы электроснабжения поселка городского типа, для этого задействуется формула (30) [4]:

$$\eta_{\text{СЭС}} = \frac{W_{\text{СЭС}}}{W_{\text{СЭС}} + \Delta W_{\text{СЭС}}} \quad (30)$$

где  $W_{\text{СЭС}}$  – активная электроэнергия, потребляемая из системы электроснабжения в течение года, кВт·ч;

$\Delta W_{\text{СЭС}}$  – потери активной электроэнергии в системе электроснабжения в течение года, кВт·ч.

Значение активной электроэнергии, потребляемой из системы электроснабжения за год следует определять по выражению (31) [26]:

$$W_{\text{СЭС}} = \sum P_{\text{СЭС}} \cdot T \quad (31)$$

где  $P_{\text{СЭС}}$  – активная мощность, потребляемая из СЭС, кВт;

$T$  – время работы СЭС, ч.

Потери активной электроэнергии в системе электроснабжения определяются выражением (32):

$$\Delta W_{\text{СЭС}} = \Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{пер}} \quad (32)$$

где  $\Delta W_{\text{пост}}$  – постоянные потери активной электроэнергии, кВт·ч;

$\Delta W_{\text{пер}}$  – переменные потери активной электроэнергии, кВт·ч.

Постоянные потери активной электроэнергии выражаются формулой (33) [11]:

$$\Delta W_{\text{пост}} = \sum n \cdot T \cdot \Delta P_{\text{хх}} \quad (33)$$

где  $n$  – число одновременно работающих трансформаторов.

Переменные потери в системе электроснабжения определяются формулой (34):

$$\Delta W_{\text{пер}} = \Delta W_{\text{кЛ}} + \Delta W_{\text{Т}} \quad (34)$$

где  $\Delta W_{\text{кЛ}}$  – потери электроэнергии в кабельных линиях, кВт·ч;

$\Delta W_{\text{Т}}$  – нагрузочные потери в силовых трансформаторах, кВт·ч.

Потери электроэнергии в кабельных линиях определяются выражением (35):

$$\Delta W_{\text{кЛ}} = \Delta P_{\text{кЛ}} \cdot \tau \quad (35)$$

где  $\Delta P_{\text{кЛ}}$  – потери активной мощности в кабельных линиях, кВт;

$\tau$  – число часов максимальных потерь, ч.

Средневзвешенное число часов максимальных потерь следует определять по выражению (36):

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{М}}}{10000} \right)^2 \cdot T_{\text{Г}} \quad (36)$$

где  $T_{\text{М}}$  – число часов максимальных потерь, ч.;

$T_{\text{Г}}$  – число часов в году, ч.

Используя формулу (36) определяем средневзвешенное число часов максимальных потерь:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{5500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 280 \text{ ч.}$$

Потери активной мощности в кабельной линии можно определять по формуле (37):

$$\Delta P_{\text{КЛ}} = I_{\text{р}}^2 \cdot r_{\text{КЛ}} \quad (37)$$

где  $r_{\text{КЛ}}$  – активное сопротивление токопроводящей жилы кабельной линии, Ом.

С использованием формулы (37) определим потери активной мощности в кабельной линии КТП-1-жилой дом №1:

$$\Delta P_{\text{КЛ}} = 162^2 \cdot 0,0025 = 6,5 \text{ кВт}$$

Теперь, с использованием формулы (35) определяем потери активной электроэнергии в кабельной линии КТП-1-жилой дом №1:

$$\Delta W_{\text{КЛ}} = 6,5 \cdot 280 = 1820 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расчет потерь активной электроэнергии для других кабельных линий выполняется по аналогии. Результаты расчета сведены в таблицу 8.

Для того, чтобы определить нагрузочные потери в силовых трансформаторах, следует использовать выражение (38) [26]:

$$\Delta W_{\text{Т}} = \sum \Delta P_{\text{К}} \cdot \tau \quad (38)$$

Используя формулу (38) определяем нагрузочные потери в силовых трансформаторах поселковой подстанции №1:

$$\Delta W_{\text{Т}} = 2 \cdot 13 \cdot 280 = 7280 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Теперь с использованием формулы (34) определяем переменные потери активной электроэнергии в системе электроснабжения поселка городского типа:

$$\Delta W_{\text{пер}} = 1820 + 7280 = 9100 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Теперь, используя формулу (33), нужно определить постоянные потери активной электроэнергии:

$$\Delta W_{\text{пост}} = 2 \cdot 8760 \cdot 1,75 = 30660 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Теперь с использованием формулы (32) определяем потери активной электроэнергии в системе электроснабжения поселка городского типа:

$$\Delta W_{\text{сэс}} = 30660 + 9100 = 39760 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

С использованием формулы (31) определяем значение активной электроэнергии, которую потребляет система электроснабжения поселка городского типа из внешней системы:

$$W_{\text{сэс}} = 1736 \cdot 8760 = 15207360 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Теперь с использованием формулы (30) определяем КПД системы электроснабжения поселка городского типа [17]:

$$\eta_{\text{сэс}} = \frac{15207360}{15207360 + 39760} = 0,96$$

КПД системы электроснабжения равен 0,96, а это означает, что она обладает нужной энергоэффективностью.

Таблица 9 – Результаты расчета потерь активной электроэнергии в кабельных линиях

Участок	Длина участка, м	Потери активной мощности в кабельной линии, кВт	Потери активной электроэнергии в кабельной линии, кВт·ч
КТП-1-жилой дом №1	0,025	65	18371
Жилой дом №1-жилой дом №2	0,025	29	8164
Жилой дом №2-жилой дом №3	0,025	7	2041
КТП-1-жилой дом №4	0,050	65	18371
Жилой дом №4-жилой дом №5	0,025	29	8164
Жилой дом №5-жилой дом №6	0,025	7	2041
КТП-1-жилой дом №7	0,070	65	18371
Жилой дом №7-жилой дом №8	0,025	29	8164
Жилой дом №8-жилой дом №9	0,025	7	2041
КТП-1-столовая	0,055	200	56062
Столовая-кафе	0,020	37	10419
КТП-1-гаражный кооператив	0,1	64	17920
Гаражный кооператив-продовольственный магазин №2	0,018	9	2604
КТП-1-поликлиника	0,022	54	15333
КТП-2-многоквартирный дом №6	0,025	174	48787
Многоквартирный дом №6-многоквартирный дом №5	0,01	151	42361
Многоквартирный дом №5-многоквартирный дом №4	0,01	16	4480
КТП-2-многоквартирный дом №3	0,03	144	40320
Многоквартирный дом №3-многоквартирный дом №2	0,01	64	17920
Многоквартирный дом №2-многоквартирный дом №1	0,01	16	4480
КТП-2-детский сад	0,066	15	4258,8
КТП-2-школа	0,07	46	13138

Продолжение таблицы 9

Участок	Длина участка, м	Потери активной мощности в кабельной линии, кВт	Потери активной электроэнергии в кабельной линии, кВт·ч
КТП-2-многоквартирный дом №12	0,07	243	68141
Многоквартирный дом №12-многоквартирный дом №11	0,025	151	42361
Многоквартирный дом №11-многоквартирный дом №10	0,025	27,04	7571
КТП-2-многоквартирный дом №9	0,075	243,36	68141
Многоквартирный дом №9-многоквартирный дом №8	0,025	151,29	42361
Многоквартирный дом №8-многоквартирный дом №7	0,025	27,04	7571
КТП-2-продовольственный магазин №1	0,035	11,2225	3142
Продовольственный магазин №1-промтоварный магазин	0,01	0,25	70

Выводы по разделу 10. Итак, по результатам расчета показателей энергоэффективности нами установлено, что система электроснабжения поселка городского типа обладает достаточным уровнем энергоэффективности, это подтверждается значением КПД системы электроснабжения, который равен 0,96.

Таким образом, перевод системы уличного освещения поселка городского типа на светодиодные светильники благоприятно сказался на показателях энергоэффективности [25].

## Заключение

В выпускной квалификационной работе нами выполнен проект реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа. На первом этапе определены расчетные электрические нагрузки до реконструкции. Затем, выполнен светотехнический расчет, по результатам которого к установке на территории поселка городского типа приняты светодиодные светильники типа TITAN ZNT. После был выполнен перерасчет электрических нагрузок, в результате замены светильников электрическая нагрузка понизилась до 1424 кВА, вместо прежних 1837 кВА.

Следующим этапом стал выбор силовых трансформаторов для поселковых подстанций. По результатам расчета выбраны четыре силовых трансформатора (по два на каждую подстанцию): два ТМГ-1000/10 и два ТМГ-630/10. Далее определена величина реактивной мощности, которую необходимо компенсировать. По результатам расчета она составляет 493 квар. Для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения поселка городского типа выбрана конденсаторная батарея типа КУ-500. На следующем этапе определены сечения кабелей, необходимых для организации электроснабжения потребителей поселка, а затем выполнен расчет токов короткого замыкания, на основании результатов которого выполнен выбор коммутационных аппаратов для системы электроснабжения.

Наконец, на последнем этапе, выполнен расчет показателей энергоэффективности системы электроснабжения поселка городского типа: КПД реконструированной системы электроснабжения составляет более 90 %, что говорит о достаточной энергоэффективности.

Таким образом, выполненный проект реконструкции системы электроснабжения поселка городского типа отвечает всем современным требованиям в области энергоэффективности и безопасности.

## Список используемой литературы

1. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти; ТГУ 2007. 54 с.
2. Власенко С. А. Коммутационные аппараты в электроэнергетических сетях. Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2016. 85 с.
3. Годжелло А. Г., Розанов Ю.К. Электрические и электронные аппараты. М. : Издательский центр Академия, 2010. 352 с.
4. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартиздат, 2014. 16 с.
5. Грунин В. К. Основы электроснабжения объектов. Проектирование системы электроснабжения объектов: конспект лекций. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. 66 с.
6. Жежеленко И. В. Кротков Е. А., Степанов В. П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. М.: Энергоатомиздат, 2003.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. 672 с.
8. Кузнецов С. М. Обоснование энергоэффективности зданий и сооружений. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2023. 116 с.
9. Лизунов С. Д., Лоханин А. К. Справочная книга по трансформаторам. М: ГУП ВЭИ, 2004. 616 с.
10. Мухортова Е. И., Давлетбаева Э. Ш. Монтаж кабельных линий электропередачи при прокладке в траншее. Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2015.
11. Панова А.В. Экономика энергетики: учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2013. 87 с.

12. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск : Норматика, 2016. 464 с.
13. РД 153.34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ОАО РАО ЕЭС России, 1998. 131 с.
14. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей. М: Стандартиздат, 1995. 30 с.
15. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: Стандартиздат, 1992. 6 с.
16. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1993. 32 с.
17. Скарлыгина Д. А. Энергоменеджмент как элемент системы энергосбережения на предприятии // Научный альманах. 2016. № 2-1(16). С. 340-343.
18. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Новосибирск : Норматика, 2016. 74 с.
19. Хренников А.Ю., Александров Н.М., Кашин М.А. Техническое обслуживание подстанций: учебное пособие. М. : КНОРУС, 2024. 256 с.
20. Хренников А. Ю., Вахнина В. В., Кувшинов А. А., Александров Н. М. Силовые трансформаторы в энергетических объектах: испытания, диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг: учебное пособие. М.: Директ-Медиа-М, 2021. 335 с.
21. Шонин Ю. П., Путилов В. Я. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт силовых масляных трансформаторов. М. : Издательский дом «МЭИ», 2013. 760 с.
22. Lui Z., Xiong R., Tian Z., Liang X. Evaluation of maximum power supply carrying capacity of medium-voltage distribution network considering feeder segment transfer // Electrical Engineering. 2024. №6. P. 154-161.

23. Li Xu, Lui X. S, Xu Z. Simulation and Research on Short Circuit Breaking Arc Characteristics of Micro Circuit Breaker // The Proceedings of the 18th Annual Conference of China Electrotechnical Society. Sochi: IEEE, 2023. P. 32-40.

24. Kluev R. V. The Electrical Loads Modeling Based on the Application of the Probabilistic Calculation Methods in Industry // RusAutoCon. Sochi : IEEE, 2020. P. 903-911.

25. Mathias J. A., Juenger K. M., Horton J. J. Advances in the energy efficiency of residential appliances in the US: A review // Energy Efficiency. 2023. №34. P. 129-135

26. Belyakov A. V., Gorbachev A. N., Dereta M. The formation of an electric spark coating during the repair and manufacture of elements of power equipment // Energy technologies and engineering. 2024. №57. P. 593-598

27. Meng F., Yang S., Xia J. W, Liu H. Creating Knowledge Graph of Electric Power Equipment Faults Based on BERT-BiLSTM-CRF Model // Journal of Electrical Engineering & Technology. 2022. №17. P. 2507-2516