

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 Проектирование электроснабжения микрорайона с жилыми и общественными зданиями

Обучающийся

А.О. Долгих

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Консультант

к.п.н., доцент, Т.С. Якушева

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

Тольятти 2023

## Аннотация

ВКР посвящена проектированию системы электроснабжения микрорайона, который помимо жилых зданий и комплексов включает в себя электрические нагрузки:

- зданий образовательного характера;
- лечебно-профилактических учреждений;
- учебных и образовательных учреждений;
- здания бытового назначения.

Расчет нагрузок проводился для жилых многоквартирных домов (МКД), общественных зданий и сооружений. Используя расчетные данные, проведен выбор силовых трансформаторов для питания потребителей микрорайона.

Размещение КТП выбрано на основании расчета центров электрических нагрузок (ЦЭН).

Следующим этапом были определены токи короткого замыкания (ТКЗ). Полученные значения ТКЗ были использованы для сравнения с паспортными данными электрооборудования КТП.

Для соблюдения требований энергосбережения и качества электроэнергии были выбраны и рассчитаны кабельные линии (КЛ) для питания потребителей микрорайона.

На заключительном этапе ВКР рассчитано заземление ПС микрорайона.

## **Abstract**

The theme of the graduation qualification work is «Designing the power supply of a microdistrict with residential and public buildings».

The graduation qualification work consists of an explanatory note on 56 pages, including 6 figures, 18 tables, a list of references from 24 sources, including 5 foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to design the power supply system of a microdistrict with residential and public buildings, calculate the network parameters and select the electrical equipment necessary to ensure high consumer power supply reliability and energy efficiency.

To achieve this goal, we have completed a number of tasks. Based on consumer data, the calculation of electrical loads, lighting, cable cross-sections, electrical equipment and appliances was performed. Based on the calculation of loads, the type, number and capacity of transformer substations were selected. The main part of the work highlights the issues of energy efficiency and the economic component. The special part of the work describes in detail the system of grounding and lightning protection of transformer substations.

The result of the graduation qualification work is the design of a reliable power supply scheme for consumers in the microdistrict.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ исходных данных .....	6
2 Расчет электрических нагрузок .....	8
3 Расчет освещения .....	16
4 Выбор числа и мощности трансформаторов .....	17
5 Выбор схемы электроснабжения потребителей .....	24
6 Расчет токов короткого замыкания .....	41
7 Выбор оборудования трансформаторных подстанций .....	47
8 Расчет заземления трансформаторных подстанций .....	50
Заключение .....	52
Список используемых источников.....	53

## Введение

Актуальность ВКР обусловлена тем, что ежегодно возводится значительное количество жилых и общественных зданий, а также вспомогательных сооружений, которые создают благоприятную инфраструктуру, высокий уровень жизни. Безусловно, для этого необходимо грамотное проектирование с соблюдением требований нормативных стандартов, актуальных норм и правил.

Целью ВКР является обеспечение надежного и бесперебойного питания потребителей микрорайона с жилыми и общественными зданиями.

Чтобы достичь поставленную цель требуется решить ряд задач, без которых электроснабжение потребителей микрорайона невозможно:

- рассчитать электрические нагрузки жилых и общественных зданий;
- спроектировать внутриквартальное освещение;
- выбрать марки силовых трансформаторов для питания потребителей микрорайона;
- провести технико-экономическое сравнение различных схем питания потребителей микрорайона города и рассчитать ЦЭН;
- вычислить ТКЗ;
- выбрать КЛ, провести расчет потерь;
- при помощи результатов расчетов ТКЗ и паспортных данных КТП провести техническое сравнение, принять решение об установке электрооборудования;
- рассчитать заземление защищаемого объекта, а также количество молниеприемников, определить требования к монтажу молниезащиты.

Выполнение вышеперечисленных задач необходимо для обеспечения бесперебойного и надежного электроснабжения жилых и общественных зданий, создания требуемой инфраструктуры, а также безопасной и удобной эксплуатации системы электроснабжения.

## **1 Анализ исходных данных**

При проведении анализа застроенного микрорайона была выяснено, что в кварталах возведены жилые дома с 11, 12 и 15 этажами. В квартирах МКД установлены газовые плиты, системы кондиционирования.

В каждом из трех кварталов микрорайона города застроены общественные здания различного назначения:

- оздоровительный центр;
- здание общественного питания;
- высшее учебное заведение;
- училище;
- торговый центр;
- супермаркет;
- отделение банка;
- больница;
- дошкольное образовательное учреждение;
- административно-офисный центр;
- школа;
- спортзал.

Нагрузка зданий зависит от производительности или количества человек ежедневно находящихся в здании.

Застраиваемый участок необходимый для микрорайона предполагается разделить на три квартала, внутриквартальная расстановка зданий является типовой (рисунок 1).

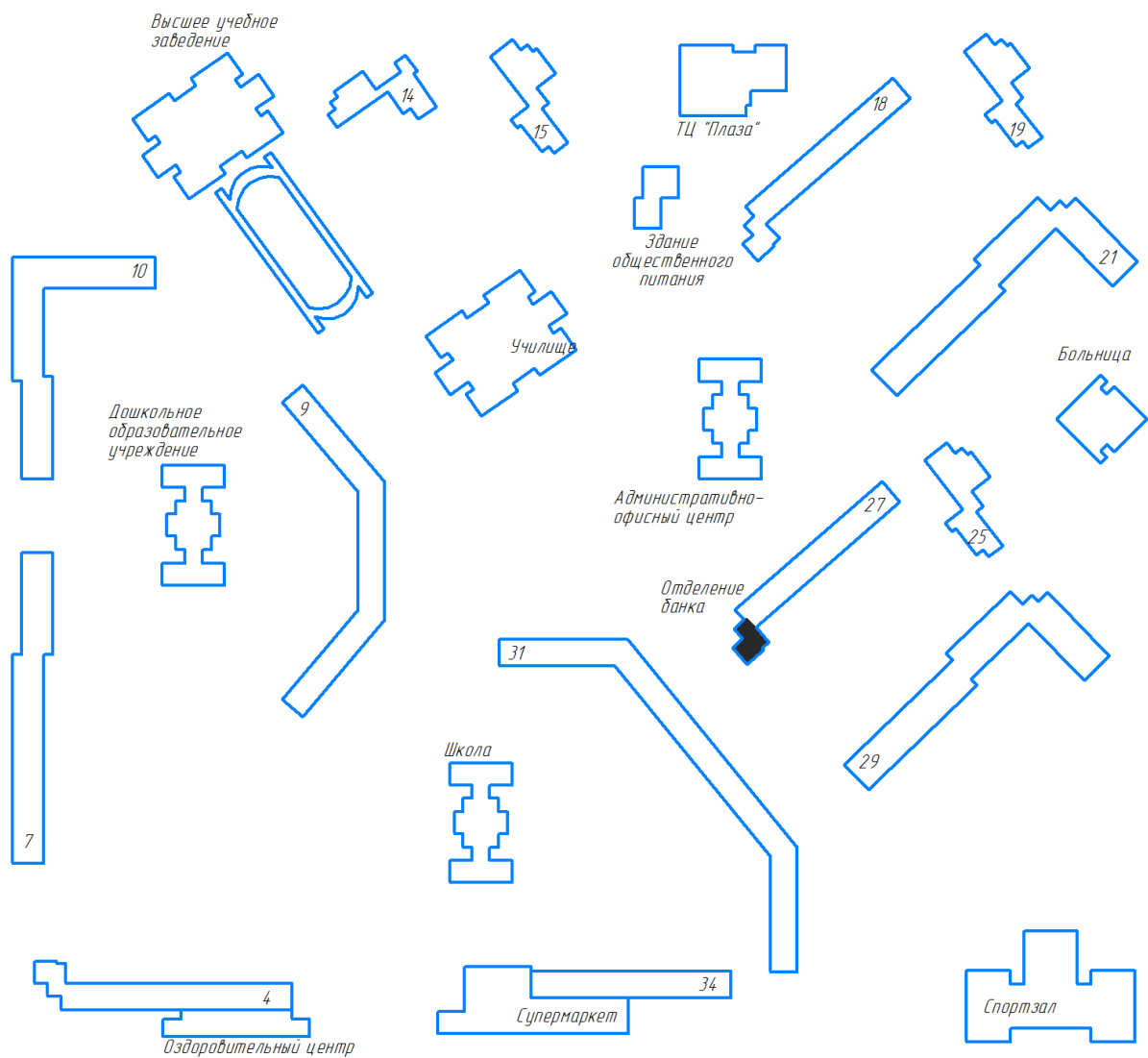


Рисунок 1 – План застройки микрорайона

Выводы по разделу

Последующие вычисления следует провести для одного из кварталов для определения суммарной нагрузки всего микрорайона.

## 2 Расчет электрических нагрузок

Рассчитаем электрические нагрузки микрорайона.

«Расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу МКД:

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

где  $n_{\text{кв}}$  – количество квартир;

$P_{\text{кв.уд}}$  – удельная мощность одной квартиры, кВт» [3].

«Расчетная мощность МКД:

$$P_{\text{р.ж.д}} = P_{\text{кв}} + k_{\text{у}} \cdot P_{\text{с}}, \quad (2)$$

где  $k_{\text{у}}$  – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников (равен 0,9);

$P_{\text{с}}$  – расчетная нагрузка силовых электроприемников МКД, кВт» [11].

«Расчетные нагрузки силового электрооборудования МКД по методу коэффициента спроса:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{н}} \cdot K_{\text{с}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{с}}$  – коэффициент спроса;

$P_{\text{н}}$  – номинальная мощность группы электроприемников, кВт» [11].

«Реактивная нагрузка потребителя микрорайона:

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (4)$$

где  $\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [11].



Полная нагрузка:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5)$$

«Значения полных нагрузок жилых домов приведём в таблице 1» [22].

«Расчетная нагрузка силового электрооборудования каждого МКД представлена в таблицах 2 и 3» [24].

«Удельная нагрузка освещенияобщедомовых помещений закладываются в нагрузку на одну квартиру» [23].

Общедомовые помещения содержат:

- лестничные клетки;
- подвальные помещения и чердаки;
- технические помещения.

Суммарную нагрузку по каждому МКДпредставим в таблицу 4.

Затемвычислим нагрузки общественных зданий.Результат расчета занесем в таблицу 5.

Таблица 1 – Лифтовая нагрузка МКД

МКД	Конфигурация МКД			$P_{\text{кв.уд}}$ кВт/кв	$n$	$P_{\text{н}}$ кВт	$k_{\text{с}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{л}}$ кВт	$Q_{\text{л}}$ квар	$S_{\text{л}}$ кВА
	П	Э	К									
14	5	15	300	0,43	5	8,1	0,79	0,7	1,02	31,995	32,63	45,70
15	5	15	300	0,43	5	8,1	0,79	0,7	1,02	31,995	32,63	45,70
19	5	15	300	0,43	5	8,1	0,79	0,7	1,02	31,995	32,63	45,70
25	5	15	300	0,43	5	8,1	0,79	0,7	1,02	31,995	32,63	45,70
4	8	11	352	0,39	16	4,9	0,58	0,7	1,02	45,472	46,38	64,95
7	8	11	352	0,39	16	4,9	0,58	0,7	1,02	45,472	46,38	64,95
34	6	11	264	0,47	12	4,9	0,58	0,7	1,02	34,104	34,79	48,72
10	8	11	352	0,39	16	4,9	0,58	0,7	1,02	45,472	46,38	64,95
18	7	11	308	0,42	14	4,9	0,58	0,7	1,02	39,788	40,58	56,83
21	8	11	352	0,39	16	4,9	0,58	0,7	1,02	45,472	46,38	64,95
27	6	11	264	0,47	12	4,9	0,58	0,7	1,02	34,104	34,79	48,72
29	8	11	352	0,39	16	4,9	0,58	0,7	1,02	45,472	46,38	64,95
9	7	12	336	0,41	7	6,2	0,63	0,7	1,02	27,342	27,89	39,06
31	7	12	336	0,41	7	6,2	0,63	0,7	1,02	27,342	27,89	39,06

Таблица 2 – Силовое электрооборудование МКД

МКД	Конфигурация МКД			$P_{\text{кв.уд}}$ кВт/кВ	$P_{\text{н}}$ кВт	$k_c$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{со}}$ кВт	$Q_{\text{со}}$ квар	$S_{\text{со}}$ кВА
	П	Э	К								
14	5	15	300	0,43	6	1,00	0,81	0,72	6	4,32	7,39
15	5	15	300	0,43	6	1,00	0,81	0,72	6	4,32	7,39
19	5	15	300	0,43	6	1,00	0,81	0,72	6	4,32	7,39
25	5	15	300	0,43	6	1,00	0,81	0,72	6	4,32	7,39
4	8	11	352	0,39	7,04	1,00	0,81	0,72	7,04	5,07	8,67
7	8	11	352	0,39	7,04	1,00	0,81	0,72	7,04	5,07	8,67
34	6	11	264	0,47	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
10	8	11	352	0,39	7,04	1,00	0,81	0,72	7,04	5,07	8,67
18	7	11	308	0,42	6,16	1,00	0,81	0,72	6,16	4,44	7,59
21	8	11	352	0,39	7,04	1,00	0,81	0,72	7,04	5,07	8,67
27	6	11	264	0,47	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
29	8	11	352	0,39	7,04	1,00	0,81	0,72	7,04	5,07	8,67
9	7	12	336	0,41	6,72	1,00	0,81	0,72	6,72	4,84	8,28
31	7	12	336	0,41	6,72	1,00	0,81	0,72	6,72	4,84	8,28

Таблица 3 – Нагрузки вентиляционных систем МКД

МКД	Конфигурация МКД			$P_{\text{кв.уд}}$ кВт/кв	$P_{\text{н}}$ кВт	$k_c$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{во}}$ кВт	$Q_{\text{во}}$ квар	$S_{\text{во}}$ кВА
	П	Э	К								
14	5	15	300	0,43	4,5	1,00	0,81	0,72	4,5	3,24	5,55
15	5	15	300	0,43	4,5	1,00	0,81	0,72	4,5	3,24	5,55
19	5	15	300	0,43	4,5	1,00	0,81	0,72	4,5	3,24	5,55
25	5	15	300	0,43	4,5	1,00	0,81	0,72	4,5	3,24	5,55
4	8	11	352	0,39	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
7	8	11	352	0,39	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
34	6	11	264	0,47	3,96	1,00	0,81	0,72	3,96	2,85	4,88
10	8	11	352	0,39	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
18	7	11	308	0,42	4,62	1,00	0,81	0,72	4,62	3,33	5,69
21	8	11	352	0,39	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
27	6	11	264	0,47	3,96	1,00	0,81	0,72	3,96	2,85	4,88
29	8	11	352	0,39	5,28	1,00	0,81	0,72	5,28	3,80	6,51
9	7	12	336	0,41	5,04	1,00	0,81	0,72	5,04	3,63	6,21
31	7	12	336	0,41	5,04	1,00	0,81	0,72	5,04	3,63	6,21

Таблица 4 – Суммарные нагрузки МКД

МКД	Конфигурация МКД			$P_{к.уд.}$ кВт/кв	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$S_{кв}$ кВА	$S_{Л}$ кВА	$S_{СО}$ кВА	$S_{ВО}$ кВА	$S_{\Sigma}$ кВА
	П	Э	К								
14	5	15	300	0,43	0,96	0,29	134,31	45,70	7,39	5,55	192,96
15	5	15	300	0,43	0,96	0,29	134,31	45,70	7,39	5,55	192,96
19	5	15	300	0,43	0,96	0,29	134,31	45,70	7,39	5,55	192,96
25	5	15	300	0,43	0,96	0,29	134,31	45,70	7,39	5,55	192,96
4	8	11	352	0,39	0,96	0,29	142,94	64,95	8,67	6,51	223,07
7	8	11	352	0,39	0,96	0,29	142,94	64,95	8,67	6,51	223,07
34	6	11	264	0,47	0,96	0,29	129,19	48,72	6,51	4,88	189,29
10	8	11	352	0,39	0,96	0,29	142,94	64,95	8,67	6,51	223,07
18	7	11	308	0,42	0,96	0,29	134,69	56,83	7,59	5,69	204,81
21	8	11	352	0,39	0,96	0,29	142,94	64,95	8,67	6,51	223,07
27	6	11	264	0,47	0,96	0,29	129,19	48,72	6,51	4,88	189,29
29	8	11	352	0,39	0,96	0,29	142,94	64,95	8,67	6,51	223,07
9	7	12	336	0,41	0,96	0,29	143,44	39,06	8,28	6,21	196,98
31	7	12	336	0,41	0,96	0,29	143,44	39,06	8,28	6,21	196,98
											2864,59

Таблица 5 – Расчет зданий общественных зданий и сооружений микрорайона

Название	$S$	Ед.изм	$P_{уд}$ кВт/С	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$k_y$	$P_{p.м}$ кВт	$Q_{p.м}$ квар	$S_{p.м}$ кВА
Оздоровительный центр	33	кВт	–	0,92	0,43	33	14,19	0,9	29,7	12,77	32,33
Здание общественного питания	80	место	0,81	0,93	0,4	48,6	19,44	0,6	29,16	11,66	31,40
Высшее учебное заведение	690	чел.	0,31	0,93	0,4	213,9	85,56	0,4	85,56	34,22	92,15
Училище	690	чел.	0,31	0,93	0,4	213,9	85,56	0,4	85,56	34,22	92,15
ТЦ "Плаза"	2650	м2	0,22	0,92	0,43	583	250,69	0,8	466,4	200,55	507,69
Супермаркет	700	м2	0,21	0,93	0,4	147	58,80	0,9	132,3	52,92	142,49
Отделение банка	35	кВт	–	0,88	0,54	35	18,90	0,9	31,5	17,01	35,80
Больница	550	чел.	0,44	0,87	0,57	242	137,94	0,7	169,4	96,56	194,99
Дошкольное образовательное учреждение	220	чел.	0,42	0,98	0,2	92,4	18,48	0,4	36,96	7,39	37,69
Административно-офисный центр	220	чел.	0,42	0,97	0,25	92,4	23,10	0,4	36,96	9,24	38,10
Школа	220	чел.	0,42	0,97	0,25	92,4	23,10	0,4	36,96	9,24	38,10
Спортзал	380	кВт	–	0,88	0,54	380	205,20	0,9	342	184,68	388,68
											1631,6

«Расчетная нагрузка административных и общественных зданий микрорайона:

$$P_{р.зд} = P_{уд} \cdot S, \quad (6)$$

где  $P_{уд}$  – удельная нагрузка здания (величина, которая берется из таблицы удельных расчетных электрических нагрузок 2.2.1 РД 34.20.185-94в зависимости от назначения здания);

$S$  – удельная нагрузка здания (исходные данные) » [3].

К общественным зданиям и сооружениям микрорайона относятся:

- учебные и образовательные учреждения;
- здания торговли;
- спортивные и медицинские комплексы.

«Максимальные нагрузки зданий:

$$P_{р.м.зд} = P_{р.зд} \cdot k_y \quad (7)$$

где  $k_y$  – коэффициент участия в максимуме нагрузки (таблица коэффициентов 2.3.1 РД 34.20.185-94)» [3].

Выводы по разделу

По результатам расчета электрических нагрузок потребителей микрорайона мы получили, что нагрузка квартала без учета освещения составляет 4496,16 кВА.

Теперь проведем расчет внутриквартального освещения.

### 3 Расчет освещения

«Освещенность территории для микрорайона должна быть не менее 10 лк» [1], [9].

Удельная мощность уличного освещения по паспортам светильников 0,7 Вт/м<sup>2</sup> [5].

«Электрическую нагрузку искусственного освещения территорий внутри микрорайона рассчитаем по методу удельной мощности освещения:

$$P_0 = F \cdot S \cdot K_{CO} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где  $F$  – площадь освещения, м<sup>2</sup>;

$S$  – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_{CO}$  – коэффициент спроса освещения» [5].

Значения удельной мощности уличного освещения микрорайона площадью 15 га представлены в таблице 2.

Коэффициент спроса уличного освещения – 0,85.

Выводы по разделу

Нагрузка внутриквартального освещения микрорайона получилась равной 89,25 кВт. Полная нагрузка с учетом освещения получилась равной 4584,41 кВА.



#### 4 Выбор числа и мощности трансформаторов

Питание потребителей осуществляется от внешних сетей напряжением 110 кВ. Внутриквартальное напряжение примем 10 кВ.

«Напряжение сети 380/220В при глухо-заземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S» [10].

Категории надежности электроснабжения зданий и сооружений микрорайона занесем в таблицу 6.

Таблица 6 – Категории надежности электроснабжения потребителей микрорайона

Название здания	Категория надежности электроснабжения
МКД	II,III
Оздоровительный центр	II
Супермаркет	II
Торговый центр	II
Отделение банка	II
Больница	I
Высшее учебное заведение	I
Школа	I
Дошкольное образовательное учреждение	I
Здание общественного питания	II
Училище	II
Административно-офисный центр	II
Спортзал	II

«III категория надежности соответствует зданиям при количестве этажей 1-8, а от 9 этажей – II категория надежности» [3]. Принимаем двухтрансформаторные подстанции.

Мощность трансформаторов рассчитаем по методу удельной плотности нагрузок.

«Удельная мощность:

$$\sigma = \frac{S}{F} \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{S}{F} = \frac{7155}{0,185} = 38,68 \text{ кВА/м}^2$$

где  $S$  – полная расчетная мощность района, кВА;

$F$  – площадь района, м<sup>2</sup>» [3]

«Поскольку плотность нагрузки выше 8, необходимо рассматривать трансформаторы выше 630 кВА. Наиболее оптимальная нагрузка распределительного пункта должна составлять 12 МВт» [3].

Результирующие нагрузки и координаты КТП с трансформатором ТМГ630 представим в таблице 7, для трансформатора ТМГ1000 – в таблице 8.

Таблица 7 – ЦЭН с трансформаторами ТМГ630 10/0,4

Наименование	$S$ кВА	$x_{ц}$ м	$y_{ц}$ м	$k_3$
КТП1	797,32	350,65	139,67	0,63
№14	192,95	447	188	–
№10	223,08	337	41	–
№9	196,99	241	171	–
Высшее учебное заведение	92,15	432	109	–
Училище	92,15	335	241	–
КТП2	1129,80	443,58	356,31	0,56
№15	192,95	447	255	–
№18	204,81	415	384	–
№19	192,95	450	468	–
Здание общественного питания	31,40	401	311	–
ТЦ "Плаза"	507,69	454	344	–
КТП3	874,22	290,80	445,65	0,69
№21	223,08	362	467	–

Продолжение таблицы 7

Наименование	$S$ , кВА	$x_{ц}$ , м	$y_{ц}$ , м	$k_3$
№25	192,95	265	450	–
№27	189,30	233	380	–
Отделение банка	35,80	235	382	–
Административно-офисный центр	38,10	297	345	–
Больница	194,99	300	512	–
КТП4	886,07	84,30	152,61	0,7
№7	223,08	170	30	–
№4	223,08	37	100	–
№34	189,30	39	271	–
Дошкольное образовательное учреждение	37,69	252	103	–
Школа	38,10	119	232	–
Оздоровительный центр	32,33	39	102	–
Супермаркет	142,49	41	273	–
КТП5	808,75	105,53	439,68	0,64
№29	223,08	184	455	–
№31	196,99	144	325	–

Таблица 8 – Расчет ЦЭН с трансформаторами ТМГ1000 10/0,4

Наименование	$S$ , кВА	$x_{ц}$ , м	$y_{ц}$ , м	$k_3$
КТП1	1339,07	418,32	234,99	0,67
№14	192,95	447	188	–
№15	192,95	447	255	–
№10	223,08	337	41	–
Административно-офисный центр	38,10	297	345	–

Продолжение таблицы 8

Наименование	$S$ , кВА	$x_{ц}$ , м	$y_{ц}$ , м	$k_3$
Высшее учебное заведение	92,15	432	109	–
Училище	92,15	335	241	–
ТЦ "Плаза"	507,69	454	344	–
КТП2	1078,28	358,08	447,66	0,54
№19	192,95	450	468	–
№25	192,95	265	450	–
№18	204,81	415	384	–
№21	223,08	362	467	–
Больница	194,99	300	512	–
Административно-офисный центр	38,1	297	345	–
Здание общественного питания	31,4	401	311	–
КТП3	1045,37	107,78	157,86	0,52
№7	223,08	170	30	–
№9	196,99	241	171	–
№4	223,08	37	100	–
№34	189,3	39	271	–
Школа	38,1	119	232	–
Оздоровительный центр	32,33	39	102	–
Супермаркет	142,49	41	273	–
КТП4	1033,85	133,35	426,75	0,52
№29	223,08	184	455	–
№31 подъезд 1-4	196,99	144	325	–
№27	189,3	233	380	–
Спортзал	388,68	41	489	–
Отделение банка	35,8	235	382	–

«Количество КТП определим по следующей формуле:

$$N = \frac{S}{k_3 S_{\text{HT}}} \quad (10)$$

где  $S_{\text{HT}}$  – номинальная мощность трансформаторов, кВА;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов» [3].

Сравним следующие варианты питания:

– ТМГ630 10/0,4 – 5 КТП;

– ТМГ1000 10/0,4 – 4 КТП;

Теперь вычислим ЦЭН микрорайона.

«ЦЭН района города:

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{\text{ц}} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i} \quad (11)$$

где  $S$  – нагрузка  $i$ -го потребителя, кВА;

$x_i, y_i$  – координаты ЦЭН  $i$ -го потребителя» [12].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (12)$$

где  $S$  – расчетная нагрузка  $i$ -го потребителя, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [12].

Покажем схемы питания для трансформаторов ТМГ630и ТМГ1000 на рисунках 2 и3.

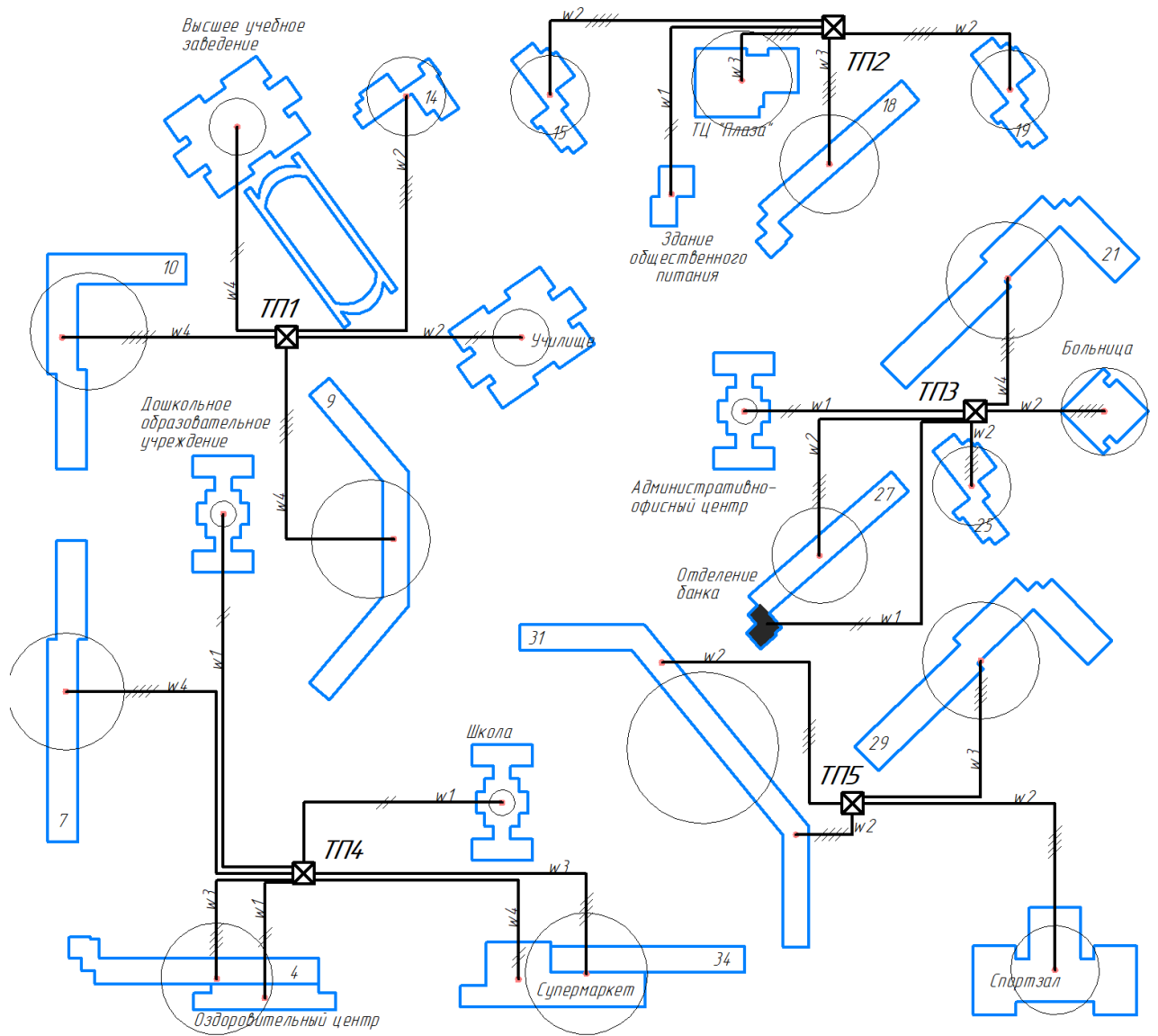


Рисунок 2 – План расстановки КТП с ТМГ630 10/0,4

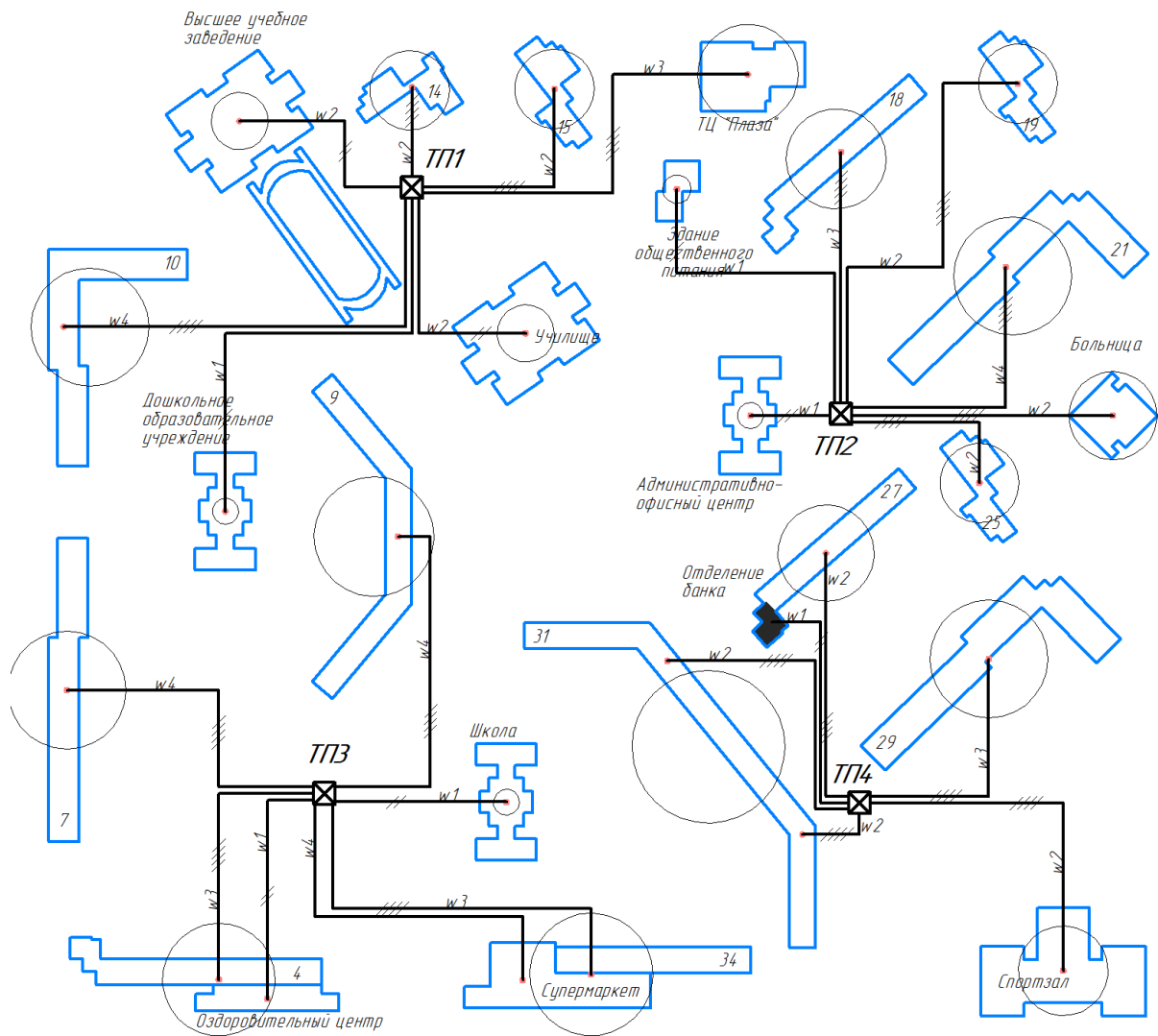


Рисунок 3 – План расстановки КТП с ТМГ1000 10/0,4

### Выводы по разделу

При проведении технико-экономического анализа следует провести сравнение схем питания КТП с ТМГ630 и ТМГ1000 для сети 10/0,4 кВ.

## 5 Выбор схемы электроснабжения потребителей

Проведем сравнение радиальной и магистральной схем питания.

«Для потребителей II категории надежности электроснабжения применим параллельные магистральные линии с секционированием шин ВРУ 0,4 кВ зданий. Для потребителей I категории надежности электроснабжения необходима установка АВР на вводе к потребителю» [23].

КЛ прокладываем, опираясь на план застройки микрорайона.

«Потребители, расположенные вблизи КТП целесообразно запитать отдельными кабельными линиями, не включая в магистральные схемы распределительных сетей» [24].

«Расчетный ток:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n} \quad (13)$$

где  $n$  – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [22].

Маркировка кабелей –АПвББШп [4].

Данные кабели используются для питания потребителей до 1кВ.

«Расчетное сечение кабельных линий:

$$F = \frac{I}{j_{\text{ЭК}}} \quad (14)$$

где  $I$  – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{ЭК}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36.

Принимаем  $j_{\text{ЭК}} = 1,6$  А/мм<sup>2</sup> поскольку  $T_{\text{max}} > 5300$  ч» [10].



«Длительнодопустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}} \quad (15)$$

где  $I_{\text{доп.справ}}$  – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее. Для четырех кабелей принимаем  $k_{\text{п}} = 0,9$  при рабочем режиме и  $k_{\text{п}} = 0,8$  – при аварийном;

$k_t$  – коэффициент поправки на температуру среды. Принимаем  $k_t = 1,06$ ;

$k_{\text{ж}}$  – коэффициент поправки на количество жил. Принимаем  $k_{\text{ж}} = 0,92$ » [10].

Значения допустимых токов приведены в таблицах 9 и 10.

«Для сетей 0,4кВ допустимые потери напряжений составляют не более 5%» [17].

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_{\text{ном}}} L_{\text{кл}} \quad (16)$$

где  $r_0, x_0$  – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L_{\text{кл}}$  – длина кабеля, км;

$P, Q$  – активная и реактивная мощность проходящая через кабель» [12].

Значения потерь напряжения в КЛ приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 9 – Выбор КЛ для схемы питания с трансформаторами ТМГ630 10/0,4

Наименование	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$	$I_{\text{раб}}, \text{А}$	$I_{\text{пав}}, \text{А}$	$F_{\text{расч}}, \text{мм}^2$	$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп.справ}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.раб}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.пав}}, \text{А}$
№14	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№10	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	50	175	136,53	153,59
№9	176,86	76,31	196,99	71,08	142,16	44,43	50	175	136,53	153,59
Высшее учебное заведение	85,56	34,22	92,15	33,25	66,50	20,78	25	115	89,72	100,93
Училище	85,56	34,22	92,15	33,25	66,50	20,78	25	115	89,72	100,93
№15	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№18	179,93	85,86	204,81	73,90	147,80	46,19	50	175	136,53	153,59
№19	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
Здание общественного питания	29,16	11,66	31,40	11,33	22,66	7,08	6	46	35,89	40,37
ТЦ"Плаза"	466,40	200,55	507,69	122,13	244,26	76,33	120	295	215,76	244,53
№21	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№25	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№27	167,42	77,42	189,30	68,31	136,62	42,69	50	175	136,53	153,59
Отделение банка	31,50	17,01	35,80	12,92	25,84	8,08	10	70	54,61	61,44
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	13,75	27,50	8,59	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 9

Наименование	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$	$I_{\text{раб}}, \text{А}$	$I_{\text{пав}}, \text{А}$	$F_{\text{расч}}, \text{мм}^2$	$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп.справ}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.раб}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.пав}}, \text{А}$
Больница	169,40	96,56	194,99	70,36	140,72	43,98	50	175	136,53	153,59
№7	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№4	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№34	167,42	77,42	189,30	68,31	136,62	42,69	50	175	136,53	153,59
Дошкольное образовательное учреждение	36,96	9,24	37,69	13,60	27,20	8,50	10	70	54,61	61,44
Школа	36,96	9,24	38,10	13,75	27,50	8,59	10	70	54,61	61,44
Оздоровительный центр	29,70	12,77	32,33	11,67	23,34	7,29	10	70	54,61	61,44
Супермаркет	132,30	52,92	142,49	51,42	102,84	32,14	35	140	109,22	122,88
№29	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№31 подъезд 1-4	88,43	38,16	98,50	35,54	71,08	22,21	25	115	89,72	100,93
№31 подъезд 4-7	88,43	38,16	98,50	35,54	71,08	22,21	25	115	89,72	100,93
Спортзал	342,00	184,68	388,68	93,50	187,00	58,44	95	255	186,51	211,37
Больница	169,40	96,56	194,99	70,36	140,72	43,98	50	175	136,53	153,59
№7	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№4	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31

Таблица 10 – Выбор КЛ для схемы питания с трансформаторами ТМГ1000 10/0,4

Наименование	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$	$I_{\text{раб}}, \text{А}$	$I_{\text{пав}}, \text{А}$	$F_{\text{расч}}, \text{мм}^2$	$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп.справ}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.раб}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.пав}}, \text{А}$
№14	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№15	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№10	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	13,75	27,50	8,59	10	70	54,61	61,44
Высшее учебное заведение	85,56	34,22	92,15	33,25	66,50	20,78	25	115	89,72	100,93
Училище	85,56	34,22	92,15	33,25	66,50	20,78	25	115	89,72	100,93
ТЦ "Плаза"	466,40	200,55	507,69	122,13	244,26	76,33	120	295	215,76	244,53
№19	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№25	171,50	77,60	192,95	69,62	139,24	43,51	50	175	136,53	153,59
№18	179,93	85,86	204,81	73,90	147,80	46,19	50	175	136,53	153,59
№21	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
Больница	169,40	96,56	194,99	70,36	140,72	43,98	50	175	136,53	153,59
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	13,75	27,50	8,59	10	70	54,61	61,44
Здание общественного питания	29,16	11,66	31,40	11,33	22,66	7,08	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 10

Наименование	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$	$I_{\text{раб}}, \text{А}$	$I_{\text{пав}}, \text{А}$	$F_{\text{расч}}, \text{мм}^2$	$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп.справ}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.раб}}, \text{А}$	$I_{\text{доп.пав}}, \text{А}$
№7	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№9	176,86	76,31	196,99	71,08	142,16	44,43	50	175	136,53	153,59
№4	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№34	167,42	77,42	189,30	68,31	136,62	42,69	50	175	136,53	153,59
Школа	36,96	9,24	38,10	13,75	27,50	8,59	10	70	54,61	61,44
Оздоровительный центр	29,70	12,77	32,33	11,67	23,34	7,29	10	70	54,61	61,44
Супермаркет	52,92	142,49	142,49	51,42	102,84	32,14	35	140	109,22	122,88
№29	195,07	95,06	223,08	80,50	161,00	50,31	70	210	163,83	184,31
№31 подъезд 1-4	88,43	38,16	98,50	35,54	71,08	22,21	25	115	89,72	100,93
№31 подъезд 4-7	88,43	38,16	98,50	35,54	71,08	22,21	25	115	89,72	100,93
№27	167,42	77,42	189,30	68,31	136,62	42,69	50	175	136,53	153,59
Спортзал	342,00	184,68	388,68	93,50	187,00	58,44	95	255	186,51	211,37
Отделение банка	31,50	17,01	31,50	11,37	22,74	7,11	6	46	35,89	40,37

Таблица 11 – Потери КЛ для схемы с трансформаторами ТМГ630 10/0,4

Наименование	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$	$F, \text{мм}^2$	$r, \text{Ом/км}$	$x, \text{Ом/км}$	$L_{\text{кл}}, \text{км}$	$dU_{\text{раб}}, \%$	$dU_{\text{пав}}, \%$
№14	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,172	1,25%	2,50%
№10	195,07	95,06	223,08	50	0,64	0,088	0,111	0,92%	1,84%
№9	176,86	76,31	196,99	50	0,64	0,088	0,152	1,14%	2,28%
Высшее учебное заведение	85,56	34,22	92,15	25	1,28	0,090	0,121	0,85%	1,70%
Училище	85,56	34,22	92,15	25	1,28	0,090	0,122	0,86%	1,72%
№15	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,171	1,25%	2,50%
№18	179,93	85,86	204,81	50	0,64	0,088	0,112	0,86%	1,72%
№19	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,071	0,52%	1,04%
Здание общественного питания	29,16	11,66	31,40	6	5,33	0,093	0,162	1,58%	3,16%
ТЦ «Плаза»	466,40	200,55	507,69	120	0,27	0,084	0,071	0,42%	0,84%
№21	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,042	0,26%	0,52%
№25	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,081	0,59%	1,18%
№27	167,42	77,42	189,30	50	0,64	0,088	0,0142	0,10%	0,20%
Отделение банка	31,50	17,01	35,80	10	3,20	0,092	0,181	1,16%	2,32%

Продолжение таблицы 11

Наименование	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$	$F, \text{мм}^2$	$r, \text{Ом/км}$	$x, \text{Ом/км}$	$L_{\text{кл}}, \text{км}$	$dU_{\text{раб}}, \%$	$dU_{\text{пав}}, \%$
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	10	3,20	0,092	0,061	0,45%	0,90%
Больница	169,40	96,56	194,99	50	0,64	0,088	0,111	0,81%	1,62%
№7	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,21	1,29%	2,58%
№4	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,091	0,56%	1,12%
№34	167,42	77,42	189,30	50	0,64	0,088	0,181	1,29%	2,58%
Дошкольное образовательное учреждение	36,96	9,24	37,69	10	3,20	0,092	0,071	0,53%	1,06%
Школа	36,96	9,24	38,10	10	3,20	0,092	0,141	1,05%	2,10%
Оздоровительный центр	29,70	12,77	32,33	10	3,20	0,092	0,131	0,79%	1,58%
Супермаркет	132,30	52,92	142,49	35	0,91	0,089	0,181	1,42%	2,84%
№29	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,131	0,80%	1,60%
№31 подъезд 1-4	88,43	38,16	98,50	25	1,28	0,090	0,151	1,10%	2,20%
№31 подъезд 4-7	88,43	38,16	98,50	25	1,28	0,090	0,041	0,30%	0,60%
Спортзал	342,00	184,68	388,68	95	0,34	0,085	0,018	0,10%	0,20%
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	10	3,20	0,092	0,061	0,45%	0,90%

Таблица 12 – Потери КЛ для схемы с трансформаторами ТМГ1000 10/0,4

Наименование	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА	$F$ , мм <sup>2</sup>	$r$ , Ом/км	$x$ , Ом/км	$L_{кл}$ , км	$dU_{раб}$ , %	$dU_{пав}$ , %
№14	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,021	0,15%	0,30%
№15	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,231	1,68%	3,36%
№10	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,121	0,74%	1,48%
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	10	3,20	0,092	0,121	0,90%	1,80%
Высшее учебное заведение	85,56	34,22	92,15	25	1,28	0,090	0,121	0,85%	1,70%
Училище	85,56	34,22	92,15	25	1,28	0,090	0,241	1,70%	3,40%
ТЦ «Плаза»	466,40	200,55	507,69	120	0,27	0,084	0,221	1,31%	2,62%
№19	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,105	0,77%	1,54%
№25	171,50	77,60	192,95	50	0,64	0,088	0,241	1,76%	3,52%
№18	179,93	85,86	204,81	50	0,64	0,088	0,131	1,00%	2,00%
№21	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,151	0,92%	1,84%
Больница	169,40	96,56	194,99	50	0,64	0,088	0,131	0,96%	1,92%
Административно-офисный центр	36,96	9,24	38,10	10	3,20	0,092	0,051	0,38%	0,76%
Здание общественного питания	29,16	11,66	31,40	10	3,20	0,092	0,181	1,07%	2,14%



Продолжение таблицы 12

Наименование	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА	$F$ , мм <sup>2</sup>	$r$ , Ом/км	$x$ , Ом/км	$L_{кл}$ , км	$dU_{раб}$ , %	$dU_{пав}$ , %
№7	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,172	1,05%	2,10%
№9	176,86	76,31	196,99	50	0,64	0,088	0,181	1,36%	2,72%
№4	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,092	0,56%	1,12%
№34	167,42	77,42	189,30	50	0,64	0,088	0,142	1,01%	2,02%
Школа	36,96	9,24	38,10	10	3,20	0,092	0,211	1,57%	3,14%
Оздоровительный центр	29,70	12,77	32,33	10	3,20	0,092	0,112	0,67%	1,34%
Супермаркет	52,92	142,49	142,49	35	0,91	0,089	0,162	0,62%	1,24%
№29	195,07	95,06	223,08	70	0,46	0,087	0,131	0,80%	1,60%
№31 подъезд 1-4	88,43	38,16	98,50	25	1,28	0,090	0,131	0,95%	1,90%
№31 подъезд 4-7	88,43	38,16	98,50	25	1,28	0,090	0,152	1,11%	2,22%
№27	167,42	77,42	189,30	50	0,64	0,088	0,042	0,30%	0,60%
Спортзал	342,00	184,68	388,68	95	0,34	0,085	0,121	0,67%	1,34%
Отделение банка	31,50	17,01	31,50	6	5,33	0,093	0,182	1,93%	3,86%

Прежде чем выбрать мощность трансформаторов следует определить какой из трансформаторов имеет меньшие затраты при эксплуатации.

Паспортные параметры трансформаторов и их стоимость приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Паспортные параметры трансформаторов и их стоимость

Маркировка трансформатора	$P_{xx}$ , кВт	$P_{кз}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{xx}$ , %	Стоимость, руб/шт
ТМГ630/10/0,4	1,04	7,59	5,49	1,59	330 000
ТМГ1000/10/0,4	1,54	10,79	5,49	1,19	480 000

«Число часов максимальных потерь за год работы трансформатора:

$$\delta_M = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{max}}{10000}\right)^2 \quad (17)$$

где  $\sigma_{max}$  – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч. Принимается равным 5300 ч». [3]

«Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\Delta W_{год,т} = \Delta P_{xx,т} \cdot T_T \cdot n_T + \Delta P_{кз,т} \cdot \left(\frac{S_{p,гр\Sigma}}{S_{н,тр}}\right)^2 \cdot \delta_M \cdot \frac{1}{n_T} \quad (18)$$

где  $T_T$  – количество рабочих часов трансформатора, ч/год» [3].

«Денежные издержки одного трансформатора:

$$I_{год,т} = \rho_{a,т} \cdot K_T + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{max}} + \vartheta\right) \cdot \Delta W_{год,тр} \cdot 10^{-5} \quad (19)$$

где  $\rho_{a,т}$  – коэффициент амортизации;

$\gamma$  – стоимость 1 кВт мощности по договору;

$\vartheta$  – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

$K_T$  – стоимость трансформатора, тыс. руб» [3].

«Денежные затраты на приобретение трансформатора:

$$Z_T = p_{н.т} \cdot K_T + I_{год.т} \quad (20)$$

где  $p_{н.т}$  – показатель экономической эффективности» [12].

Расчет представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Техничко-экономическое сравнение трансформаторов ТМГ 630 и ТМГ 1000

Наименование показателя	ТМГ 630/10/0,4	ТМГ 1000/10/0,4
$\delta_M$	3860 ч/год	3860 ч/год
$\Delta W_{год.т}$	25362 кВт·ч	37132 кВт·ч
$I_{год.т}$	24812,99 тыс. руб	36327,91 тыс. руб
$p_{н.т} \cdot K_T$	39,60 тыс. руб	57,60 тыс. руб
$Z$	24852,59 тыс. руб	36385,51 тыс. руб

Далее необходимо провести расчет капиталовложений на строительство системы электроснабжения на базе трансформаторов ТМГ 630 и ТМГ 1000. Проведенные расчеты приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Расчет капиталовложений и потерь КЛ в схеме с трансформаторами ТМГ630

Наименование	$L_{\text{кл}}, \text{ км}$	$dU_{\text{раб}}, \%$	$dU_{\text{пав}}, \%$	$C_{\text{пркл}}, \text{ руб/м}$	$K_{\text{пркл}}, \text{ руб}$	$C_{\text{кл}}, \text{ руб/м}$	$K_{\text{кл}}, \text{ руб}$
№14	0,172	1,25%	2,50%	370	63640	137,6	42656
№10	0,111	0,92%	1,84%	370	41070	88,8	27528
№9	0,152	1,14%	2,28%	370	56240	121,6	37696
Высшее учебное заведение	0,121	0,85%	1,70%	245	29645	96,8	30008
Училище	0,122	0,86%	1,72%	245	29890	97,6	30256
№15	0,171	1,25%	2,50%	370	63270	136,8	42408
№18	0,112	0,86%	1,72%	370	41440	89,6	27776
№19	0,071	0,52%	1,04%	370	26270	56,8	17608
Здание общественного питания	0,162	1,58%	3,16%	150	24300	129,6	40176
ТЦ "Плаза"	0,071	0,42%	0,84%	720	51120	56,8	17608
№21	0,042	0,26%	0,52%	470	19740	33,6	10416
№25	0,081	0,59%	1,18%	370	29970	64,8	20088
№27	0,0142	0,10%	0,20%	370	5254	11,36	3521,6
Отделение банка	0,181	1,16%	2,32%	170	30770	144,8	44888
Административно-офисный центр	0,061	0,45%	0,90%	170	10370	48,8	15128

Продолжение таблицы 15

Наименование	$L_{кл}$ , км	$dU_{раб}$ , %	$dU_{пав}$ , %	$C_{пркл}$ , руб/м	$K_{пркл}$ , руб	$C_{кл}$ , руб/м	$K_{кл}$ , руб
Больница	0,111	0,81%	1,62%	370	41070	88,8	27528
№7	0,21	1,29%	2,58%	470	98700	168	52080
№4	0,091	0,56%	1,12%	470	42770	72,8	22568
№34	0,181	1,29%	2,58%	370	66970	144,8	44888
Дошкольное образовательное учреждение	0,071	0,53%	1,06%	170	12070	56,8	17608
Школа	0,141	1,05%	2,10%	170	23970	112,8	34968
Оздоровительный центр	0,131	0,79%	1,58%	170	22270	104,8	32488
Супермаркет	0,181	1,42%	2,84%	295	53395	144,8	44888
№29	0,131	0,80%	1,60%	470	61570	104,8	32488
№31 подъезд 1-4	0,151	1,10%	2,20%	245	36995	120,8	37448
№31 подъезд 4-7	0,041	0,30%	0,60%	245	10045	32,8	10168
Спортзал	0,018	0,10%	0,20%	595	10710	14,4	4464
			917090		1003524	2481,76	769345,6

Таблица 16 – Расчет капиталовложений и потерь КЛ в схеме с трансформаторами ТМГ1000

Наименование	$L_{кл}$ , км	$C_{пркл}$ ,руб/м	$K_{пркл}$ , руб	$C_{кл}$ , руб/м	$K_{кл}$ , руб	$V_{зем}$ , м <sup>3</sup>	$K_{зем}$ , руб
№14	0,021	350	7350	370	7770	16,8	5208
№15	0,231	350	80850	370	85470	184,8	57288
№10	0,121	350	42350	470	56870	96,8	30008
Административно-офисный центр	0,121	200	24200	170	20570	96,8	30008
Высшее учебное заведение	0,121	250	30250	245	29645	96,8	30008
Училище	0,241	250	60250	245	59045	192,8	59768
ТЦ "Плаза"	0,221	420	92820	720	159120	176,8	54808
№19	0,105	350	36750	370	38850	84	26040
№25	0,241	350	84350	370	89170	192,8	59768
№18	0,131	350	45850	370	48470	104,8	32488
№21	0,151	350	52850	470	70970	120,8	37448
Больница	0,131	350	45850	370	48470	104,8	32488
Административно-офисный центр	0,051	200	10200	170	8670	40,8	12648
Здание общественного питания	0,181	200	36200	170	30770	144,8	44888
№7	0,172	350	60200	470	80840	137,6	42656

Продолжение таблицы 16

Наименование	$L_{кл}$ , км	$C_{пркл}$ , руб/м	$K_{пркл}$ , руб	$C_{кл}$ , руб/м	$K_{кл}$ , руб	$V_{зем}$ , м <sup>3</sup>	$K_{зем}$ , руб
№9	0,181	350	63350	370	66970	144,8	44888
№4	0,092	350	32200	470	43240	73,6	22816
№34	0,142	350	49700	370	52540	113,6	35216
Школа	0,211	200	42200	170	35870	168,8	52328
Оздоровительный центр	0,112	200	22400	170	19040	89,6	27776
Супермаркет	0,162	250	40500	295	47790	129,6	40176
№29	0,131	350	45850	470	61570	104,8	32488
№31 подъезд 1-4	0,131	250	32750	245	32095	104,8	32488
№31 подъезд 4-7	0,152	250	38000	245	37240	121,6	37696
№27	0,042	350	14700	370	15540	33,6	10416
Спортзал	0,121	350	42350	595	71995	96,8	30008
Отделение банка	0,182	200	36400	150	27300	145,6	45136
			1170720		1345890	3119,2	966952

Траншею с КЛ следует выполнить глубиной 1м и шириной 0,8м.

Погонный метр КЛ примем из каталога [6].

«Общая стоимость капиталовложений для прокладки кабельных линий:

$$Z = K_{\text{пркл}} + K_{\text{кл}} + K_{\text{земл}} = (C_{\text{пркл}} + C_{\text{кл}})L + V_{\text{зем}}C_{\text{зем}} \quad (21)$$

где  $C_{\text{пркл}}$  – стоимость прокладки кабеля, руб/м;

$C_{\text{кл}}$  – стоимость кабеля, руб/м;

$V_{\text{зем}}$  – объем земляных работ, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{зем}}$  – стоимость земляных работ (включает разработку грунта 800 руб/м<sup>3</sup> и обратную засыпку 350 руб/м<sup>3</sup> [14]), руб/м<sup>3</sup>» [6].

Выводы по разделу

Технико-экономический расчет позволил определить, что схема с трансформаторами ТМГ 630/10/0,4 получилась выгоднее, чем схема с трансформаторами ТМГ 1000/10/0,4 для электроснабжения микрорайона.

Строительство схемы питания с трансформаторами ТМГ630 равны 2690 тыс. руб, а с трансформаторами ТМГ1000 – 3484тыс. руб.



## 6 Расчет токов короткого замыкания

«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с  $S_c=500$  МВА,  $U_6=10,5$ кВ,  $S_6=1000$  МВА» [15].

Рассчитаем ТКЗ в относительных единицах (о.е.).

Ток КЛ от системы до трансформатора ТМГ630 10/0,4:

$$I_{c-тр} = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (22)$$
$$I_{c-тр} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 35 \text{ А}$$

«Сечение по экономической плотности тока  $J_{эк}=1,1$  А/мм<sup>2</sup>» [13]:

$$F_{c-тр} = \frac{I_{c-тр}}{J_{эк}} \quad (23)$$
$$F_{c-тр} = \frac{35}{1,1} = 32 \text{ мм}^2$$

«Округляем до номинального сечения 35 мм<sup>2</sup>. По паспортным данным ААБл 3х35-10 длительный допустимый ток составляет 110 А. В случае отключения одного из трансформаторов КЛ выдержит аварийный ток» [18].

«Активное сопротивление кабеля  $r_{уд1}=0,62$  Ом/км и индуктивное сопротивление кабеля  $x_{уд1}=0,09$  Ом/км» [15]. «Длина кабельной линии от точки питания до КТП равна  $l_{кл1}=1000$  м» [14].

Индуктивное и активное сопротивление кабеля:

$$x_{кл1} = x_{уд1} \cdot l_{кл1} \quad (24)$$

$$r_{кл1} = r_{уд1} \cdot l_{кл1} \quad (25)$$

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_6^2}{S_c} \quad (26)$$
$$x_c = \frac{10,5^2}{500} = 220,5 \text{ мОм}$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К-1:  $x_{К-1} = 589 \text{ мОм}$ ;  $r_{К-1} = 306 \text{ мОм}$ . Расчетная схема и схема замещения цепи с точками КЗ представлена на рисунке 4.

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей (АВ) примем равными  $r_{КВ} = 1,1 \text{ мОм}$ ,  $x_{КВ} = 0,5 \text{ мОм}$ . Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока (ТТ) первого класса точности  $r_{ТА} = 0,2 \text{ мОм}$ ,  $x_{ТА} = 0,3 \text{ мОм}$ . Активное сопротивление контактов  $r_{к} = 0,1 \text{ мОм}$ » [10].

Пересчитанное сопротивление к ступени НН:

$$x_{стНН} = x_{стВН} \frac{U_{НН}^2}{U_{ВН}^2} \quad (27)$$

Реактивное сопротивление ТМГ630/10/0,4;

$$x_{тр} = \sqrt{u_{Кз.тр}^2 - \left( \frac{100 \cdot P_{Кз.тр}}{S_{Н.тр}} \right)^2} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{Н.тр}} \cdot 10^4 \quad (28)$$
$$x_{тр} = \sqrt{5,49^2 - \left( \frac{100 \cdot 10,79}{1000} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,70 \text{ мОм}$$

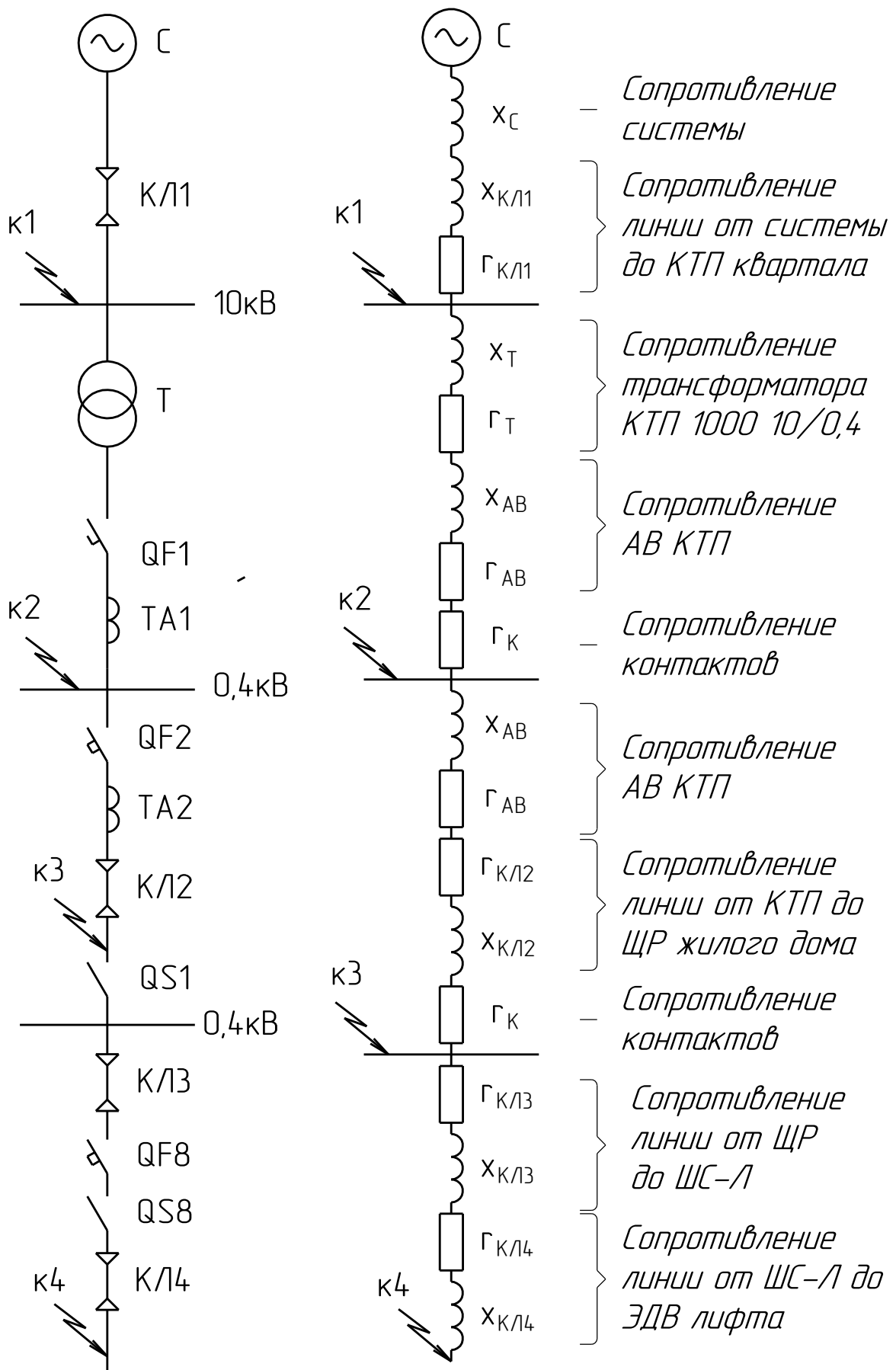


Рисунок 4 – Расчетная схема и схема замещения цепи микрорайона

Активное сопротивление ТМГ630/10/0,4:

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{тр}}^2} \cdot 10^6 \quad (29)$$

$$r_{\text{тр}} = \frac{10,79 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 1,21 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивления от системы до точки К-2:

$$r_{\text{К-2}} = r_{\text{КЛ1}} + r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{кв}} + r_{\text{тт}} \quad (30)$$

$$x_{\text{К-2}} = x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{тр}} + x_{\text{кв}} + x_{\text{тт}} + x_{\text{с}} \quad (31)$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К-2:  $x_{\text{К-2}} = 24,88 \text{ мОм}$ ,  $r_{\text{К-2}} = 28,92 \text{ мОм}$ .

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [7]:

$$I_{\text{п0.К-i}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{К-i}}^2 + x_{\text{К-i}}^2)}} \quad (32)$$

$$I_{\text{п0.К-i}} = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (28,92^2 + 24,88^2)}} = 6,05 \text{ кА}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [7]:

$$\psi_i = \text{arctg} \left( \frac{x_{\text{К-i}}}{r_{\text{К-i}}} \right) \quad (33)$$

$$\psi_i = \text{arctg} \left( \frac{24,88}{28,92} \right) = 0,71$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [7]:

$$\zeta_i = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi_i}{\pi} \quad (34)$$

$$\zeta_i = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + 0,71}{\pi} = 7,27 \text{ мс}$$

«Постоянная времени затухания апериодической составляющей ТКЗ» [7]:

$$T_{a.K-i} = \frac{x_{K-i}}{r_{K-i} \cdot \omega} \quad (35)$$

$$T_{a.K-i} = \frac{24,88}{28,92 \cdot 314} = 2,74 \text{ мс}$$

«Ударный коэффициент:

$$K_{уд.K-i} = 1 + \sin \psi_i \cdot e^{\frac{-\zeta_i}{T_{a.K-i}}} \quad (36)$$

$$K_{уд.K-i} = 1 + \sin(0,71) \cdot e^{\frac{-7,27}{2,74}} = 1,3$$

Ударный ток:

$$i_{уд.K-i} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.K-i} \cdot K_{уд.K-i} \quad (37)$$

$$i_{уд.K-i} = \sqrt{2} \cdot 6,05 \cdot 1,3 = 11,12 \text{ кА}$$

ТКЗ точек К-3 и К-4 проведем аналогично и внесем результаты в таблицу 17» [7].

Таблица 17 – Расчет трехфазных КЗ микрорайона

Точка	Элемент цепи	$r_{к-i}$	$x_{к-i}$	$I_{п0.к-i}$	$\psi_i$	$\zeta_i$	$K_{уд.к}$	$i_{уд.к}$
		мОм		кА	рад	$10^{-3} с$	–	кА
К1	Система (ВН)	–	220,5	–	–	–	–	–
	КЛ «система-КТП»	589	85,5	–	–	–	–	–
	Параметры точки К1	589	306,00	9,13	–	–	1,4	18,08
К2	Сопротивление К1 приведенное к НН	0,85	0,44	–	–	–	–	–
	ТМГ630	1,21	8,70	–	–	–	–	–
	КЛ «КТП-РУ»	26	15,4	–	–	–	–	–
	Контакты	0,1	–	–	–	–	–	–
	Катушки АВ	0,65	0,17	–	–	–	–	–
	ТТ	0,11	0,17	–	–	–	–	–
	Параметры точки К2	28,92	24,88	6,05	0,71	7,26	1,3	11,12
К3	КЛ «РУ-ЩС»	14,3	8,47	–	–	–	–	–
	Контакты	0,15	–	–	–	–	–	–
	Катушки АВ	1,2	0,6	–	–	–	–	–
	ТТ	0,33	0,68	–	–	–	–	–
	Параметры точки К3	44,90	34,63	4,07	0,66	7,1	1,2	6,91
К4	КЛ «ЩС-ЭП»	6,5	3,85	–	–	–	–	–
	Контакты	0,11	–	–	–	–	–	–
	Катушки АВ	1,31	0,71	–	–	–	–	–
	ТТ	0,74	1,19	–	–	–	–	–
	Параметры точки К4	53,56	40,38	3,44	0,65	7,07	1,2	5,84

#### Выводы по разделу

На стороне выше 1кВ наибольший ударный ток составил 18,08 кА, а на стороне до 1кВ – 11,12 кА.

## 7 Выбор оборудования трансформаторных подстанций

«Оборудование КТП должно соответствовать критериям термической и электродинамической стойкости» [21].

Ток термической стойкости точки на примере К-2:

$$B_{K.i} = I_{п0.K-i}^2 (T_{a.K-i} + t_{п.в}) \quad (38)$$
$$B_{K.i} = 6,05^2 \cdot (2,74 + 30) \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (39)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где  $t_{рз}$  – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$  – время срабатывания выключателя на отключение, с» [19].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ» [16]:

$$i_{a.\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.K-i} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_{a.K-i}}} \quad (40)$$
$$i_{a.\gamma} = \sqrt{2} \cdot 6,05 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,74}} = 8,4 \text{ кА}$$

«Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{a.n} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (41)$$
$$i_{a.n} = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 13,1 \text{ кА}$$

где  $I_{\delta}$  – ток отключения выключателя, кА» [19].

Расчетные параметры занесем в таблицу 18.

Таблица 18 – Проверка на соответствие характеристик электрооборудования КТП

Расчетный параметр	Единица измерения	Сравниваемый параметр	Автоматический выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{max}=0,909$	кА	$I_p$	1	1	1
$I_{п0}=6,05$	кА	$I_\delta$	7	–	–
$i_{ay}=8,4$	кА	$i_{a..н}$	13,1	–	–
$i_{уд.к}=11,12$	кА	$i_{пр.с}$	15	15	15
$B_{к,i}=1,2$	кА <sup>2</sup> ·с	$B_{к.н}$	10	10	10

План КТП с компоновкой оборудования представлены на рисунках 5 и 6 соответственно [8].

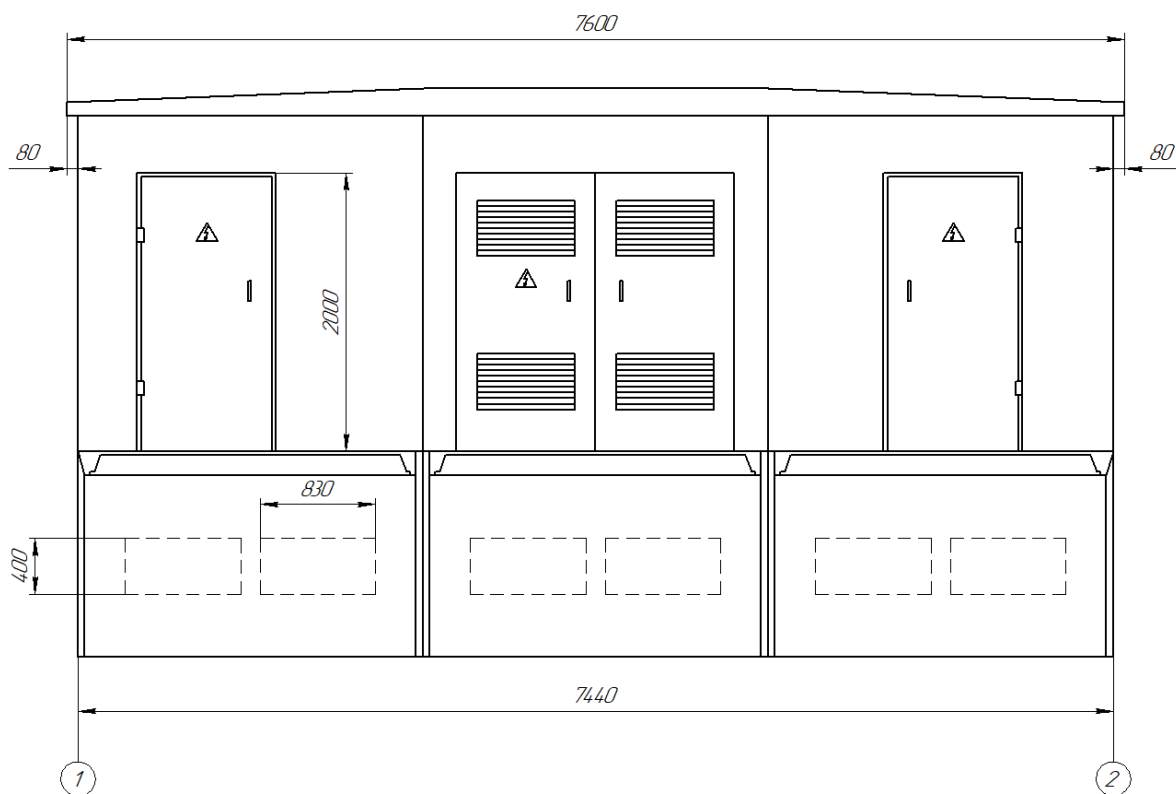


Рисунок 5 – План КТП с ТМГ630/10/0,4



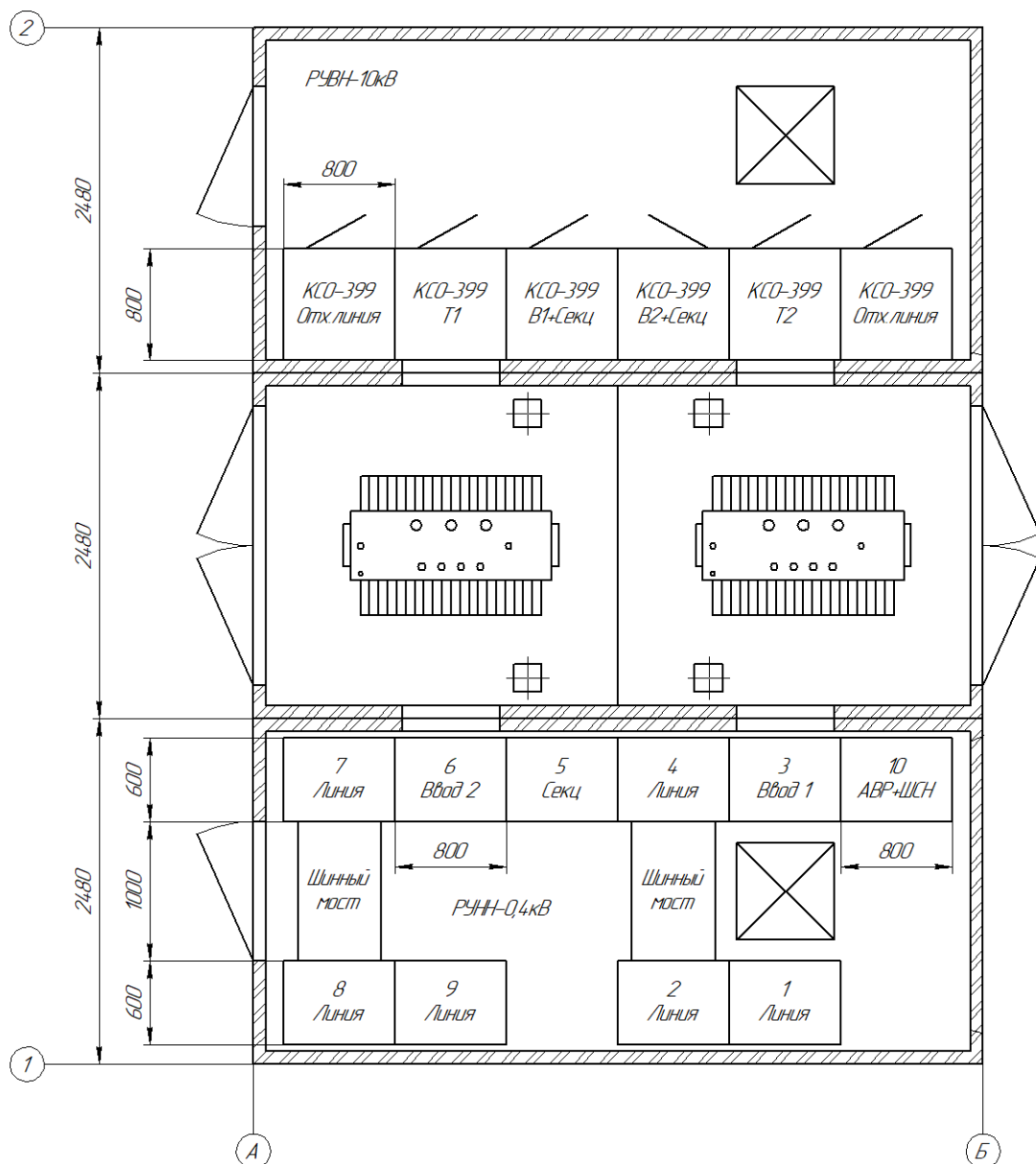


Рисунок 6 – Компонка оборудования КТП с ТМГ630/10/0,4

Выводы по разделу

Электрооборудование КТП с трансформаторами ТМГ630/10/0,4 прошло требуемые проверки для поддержания надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей микрорайона.

## 8 Расчет заземления трансформаторных подстанций

Тип системы заземления на вводе в здания микрорайона примем TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S [10].

«Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине (1.7.119-1.7.120) при помощи проводников системы уравнивания потенциалов» [2].

«Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left( \ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right) \quad (42)$$

где  $\rho_{э.г}$  – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{в.з}$  – длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{в.з}$  – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{в.з}$  – заглубление, м» [10].

«Сопротивление горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}} \quad (43)$$

где  $b_{г.з}$  – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{г.з}$  – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{г.з}$  – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [10].

«Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{иi} n_i}{R_i}} \quad (44)$$

где  $n_i$  – число комплектов;

$k_{иi}$  – коэффициент использования» [10].

Расчет сопротивлений заземляющего устройство проведем на примере одной из КТП:

$$R_{в.з} = \frac{98}{6,28 \cdot 2,9} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 2,9}{0,017} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{8+2,9}{8-2,9} \right) \right) = 33,49 \text{ Ом}$$

$$R_{г.з} = \frac{98}{6,28 \cdot 19,7} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot 19,7^2}{0,06 \cdot 0,4} \right) = 8,23 \text{ Ом}$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\left( \frac{25 \cdot 0,68}{33,5} \right) + \left( \frac{1 \cdot 0,68}{8,22} \right)} = 1,7 \text{ Ом}$$

«На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники PE и нулевые N» [10].

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции» [2].

«Жилые здания относятся к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля зданий выполнена плоской. В качестве молниеприемника применяется молниеприемная сетка из полосовой стали 25x4, которая располагается на кровле» [10],[20].

Выводы по разделу

Сопротивление заземляющего устройства менее 4 Ом, следовательно, требования электробезопасности выполняются. Молниезащита зданий района обеспечивается в соответствии с утвержденными правилами и нормативами.

## Заключение

При выполнении работы был проведен расчет и проектирование системы электроснабжения микрорайона.

В качестве исходных данных представлен план застройки жилых и общественных зданий, использованы нагрузки электрооборудования жилых зданий, удельные нагрузки общественных зданий, расположенных на территории рассматриваемого микрорайона. На основании исходных данных были вычислены суммарные электрические нагрузки с учетом освещения внутриквартальных территорий микрорайона.

Для питания потребителей микрорайона были взяты для технико-экономического сравнения два типа трансформатора: ТМГ630/10/0,4 и ТМГ1000/10/0,4.

Для первого типа трансформаторов была спроектирована схема с пятью двухтрансформаторными КТП, а для второго типа – с четырьмя КТП. Схемы прокладки КЛ для трансформаторов ТМГ630/10/0,4 и ТМГ1000/10/0,4 выполнены на основании расчета ЦЭН.

Далее был проведен расчет капиталовложений необходимых на прокладку КЛ для питания потребителей по двум схемам электроснабжения. В результате была выбрана схема с пятью КТП на базе силовых трансформаторов ТМГ630/10/0,4.

На следующем этапе рассчитаны ТКЗ. Рассчитанные ТКЗ определялись для одной точки на стороне 10 кВ и для трех точек на стороне 0,4 кВ. Точки КЗ приняты на ступенях цепи до одного из мощных электроприемников микрорайона.

На основании расчета ТКЗ была проведена проверка оборудования КТП. По результатам проверки оборудование соответствует требуемым параметрам термической и электродинамической стойкости.

На заключительном этапе рассчитана заземление и молниезащита для оборудования КТП рассматриваемого микрорайона.

## Список используемых источников

1. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил 52.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 15.03.2023).

2. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 15.03.2023).

3. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс] : Руководящий документ 34.20.185-94 утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 15.03.2023).

4. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 18410-73 утв. и введен в действие Приказом Госстандарта от 08.02.1973. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004968> (дата обращения: 15.03.2023).

5. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 15.03.2023).

6. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кc.ru/price/cable-арvbbshp> (дата обращения: 15.03.2023).

7. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : ГОСТ 28249-93 утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 15.03.2023).

8. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 15.03.2023).

9. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : ГОСТ 55706-2013 утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 15.03.2023).

10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

11. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] : Свод правил по проектированию и строительству 31-110-2003 утв. приказом №194 от 26.10.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (дата обращения: 15.03.2023).

12. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-ro-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 15.03.2023).

13. Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации наружного электрического освещения [Электронный ресурс] : ГОСТ 21.607-2014 введен в действие Приказом Росстандарта от 26.11.2014 N 1839-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115054> (дата обращения: 15.03.2023).

14. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 15.03.2023).

15. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 52719-2007 утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 15.03.2023).

16. Трансформаторы тока. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 7746-2015 введен в действие Приказом Росстандарта от 23.06.2016 N 674-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136399> (дата обращения: 15.03.2023).

17. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : ГОСТ 32144-2013 введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.03.2023).

18. Устройства защитного отключения переносные бытового и аналогичного назначения, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтоков (УЗО-ДП). Общие требования и методы испытаний [Электронный ресурс] : ГОСТ 31603-2012 утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии от 15.11.2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102087> (дата обращения: 15.03.2023).

19. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ [Электронный ресурс] : ГОСТ 1516.3-96 утв. Государственным комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 07.04.1998. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011565> (дата обращения: 15.03.2023).

20. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2018. p.259-264.

21. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. IEEE Access Vol. 8. 2020. p.673-684.

22. Benthaus M. A Coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. Energy, Sustainability and Society Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

23. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. Energies Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

24. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low-carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. Energy Conversion and Economics. Energy Conversion and Economics. 2020. p.34-44.