

«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 системы электроснабжения района города Самарской области

Обучающийся

Р. В. Храпылин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

Аннотация

В данной бакалаврской работе разрабатывается электропитание района города, на территории которого находятся необходимые объекты инфраструктуры. Это и образовательные, и медицинские учреждения, это и торговые, и спортивные комплексы, ну и конечно же и жилые дома.

В рамках работы над проектом выполнен ряд типовых расчетов, в том числе определены электрические нагрузки, создаваемые основными электроприёмниками и освещением. На их основе определена нагрузка силовых трансформаторов, планируемых к установке на подстанциях района. Окончательный выбор в пользу ТМГ-1000 сделан на основе сравнения технико-экономических показателей работы сети электроснабжения при питании от трансформаторов мощностью 1000 кВА и 1250 кВА.

Выбор силового оборудования произведен с учетом требований действующих нормативных документов, результатов расчета токов короткого замыкания и на основе анализа предложений современного электротехнического рынка.

Для обеспечения безопасной эксплуатации КТП, задействованных в системе электроснабжения городского района, осуществлен расчет и выбор элементов их систем заземления.

В состав данной бакалаврской работы входит пояснительная записка объемом 45 страниц и графическая часть, состоящая из 6 чертежей.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	5
2 Расчет электрических нагрузок.....	7
3 Расчет освещения	9
4 Выбор числа и мощности трансформаторов.....	10
5 Выбор схемы электроснабжения потребителя.....	15
6 Расчет токов короткого замыкания.....	31
7 Выбор оборудования трансформаторных подстанций.....	36
8 Расчет заземления трансформаторных подстанций.....	39
Заключение	41
Список используемой литературы.....	42

Введение

«При проектировании жилых районов важная роль отведена электроснабжению. Благоустройство жилой среды и осуществления благоприятного местожительства людей обязывает вести учет всех необходимых требований при проектировании и ввода в эксплуатацию зданий и сооружений.

Необходимость выпускной квалифицированной работы состоит в том, что каждый год строятся и вводятся в эксплуатацию огромное количество зданий и сооружений и нам так необходимо спроектировать качественное и электробезопасное снабжения строительства объектов» [1].

Целью выпускной квалифицированной работы является разработка безопасного, а также энергоэффективного снабжения электроэнергией района города Самарской области.

Чтобы достичь поставленную цель требуется осуществить решение ряда вопросов, «без которых проектирование системы электроснабжение невозможно:

- провести расчет электрических нагрузок жилых зданий и сооружений общественно-бытового назначения;
- выполнить расчет внутриквартирного освещения;
- выбрать соответствующие силовые трансформаторы для электроснабжения зданий района города;
- сравнить различные схемы питания потребителей района города;
- определить места установки КТП путем расчета ЦЭН;
- рассчитать токи короткого замыкания (ТКЗ);
- выбрать кабельные линии;
- выбрать силовое электрооборудование КТП;
- рассчитать заземление и молниезащиту в соответствии с требованиями правил нормативных документов.» [1]

1 Анализ исходных данных

В данном районе города Самарской области находятся девятиэтажные, двенадцатиэтажные и четырнадцатиэтажные дома.

Лифты и электроплиты включены в проектировку всех многоэтажек.

Предполагаем также, что в рассматриваемом городском районе имеются следующие типовые сооружения:

- аптека,
- универсам,
- детсад,
- банк,
- бассейн,
- общественное питание,
- медцентр,
- университет,
- школа,
- колледж,
- торговый развлекательный центр (ТРЦ),
- спортзал.

При определении нагрузки перечисленных строений исходим из ориентировочных значений, используя общедоступные сведения о мощности электроприемников подобных объектов.

В составе рассматриваемого городского района имеются три однотипных квартала. На рисунке 1 показано, как располагаются строения на территории одного из таких кварталов.

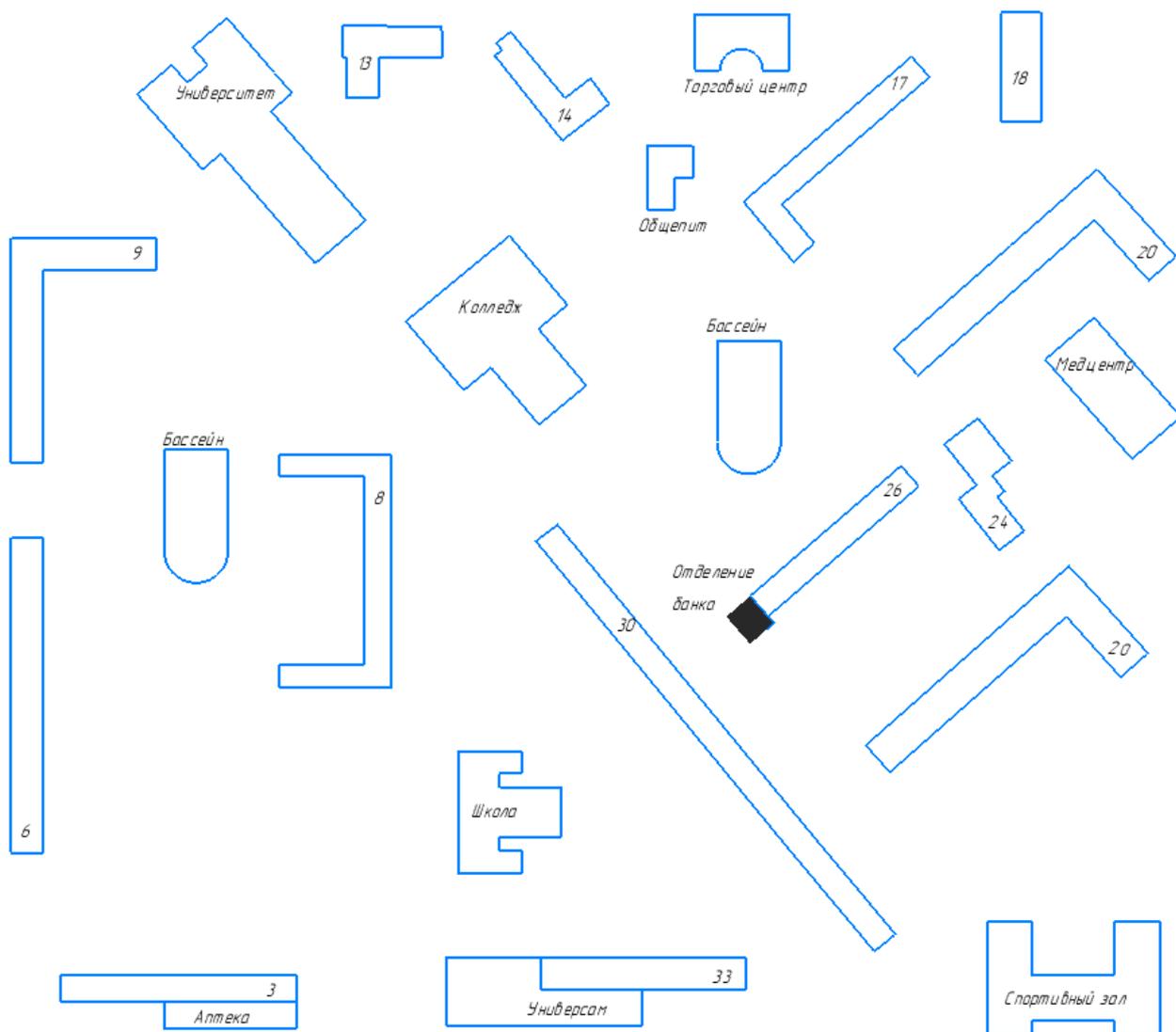


Рисунок 1 – Схема района

Выводы по разделу

Городской район состоит из трех однотипных кварталов. Поэтому далее все необходимые расчеты будем выполнять для одного квартала.

2 Расчет электрических нагрузок

«Вычислим электрические нагрузки района.

Расчетная мощность жилого дома:

$$P_{р.жд} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} + k_y \cdot P_c, \quad (1)$$

где $n_{кв}$ – количество квартир;

$P_{кв.уд}$ – удельная мощность одной квартиры, кВт;

k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников (равен 0,9);

P_c – расчетная нагрузка силовых электроприемников МКД, кВт» [4] – [10].

«Расчетные нагрузки силового электрооборудования МКД по методу коэффициента спроса:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (2)$$

где K_c – коэффициент спроса;

P_n – номинальная мощность группы электроприемников, кВт» [4] – [12].

«Силовое оборудование включает в себя: вентиляционные установки, электроприводы лифтов, насосы.

Реактивная нагрузка потребителя микрорайона:

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, \quad (3)$$

где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [4] – [12].

Полная нагрузка:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (4)$$

Из результатов расчета следует, что в жилых домах мощность, потребляемая силовым оборудованием, составляет 617,73 кВА.

Для всех домов рассматриваемого городского района полная силовая нагрузка составляет 5141,62 кВА.

«Удельные осветительные нагрузки технических и общих помещений учитываются в нагрузках на одну квартиру.» [23], [24]

«Общие помещения включают: площадки с лестницами; чердаки и подвалы; технические этажи.

Расчетная нагрузка зданий района, оказывающих общественные блага:

$$P_{р.зд} = P_{уд} \cdot S, \quad (5)$$

где $P_{уд}$ – удельная нагрузка здания (величина, которая берется из таблицы 2.2.1 в зависимости от назначения здания);

S –производительность здания (исходные данные)» [4], [11].

«Максимальные нагрузки зданий:

$$P_{р.м.зд} = P_{р.зд} \cdot k_y, \quad (6)$$

где k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки (таблица 2.3.1)» [4].

Максимальные нагрузки остальных сооружений района составляют 1924,24 кВА.

Выводы по разделу

Основная нагрузка электропотребителей района составляет 7065,86 кВА. Для выбора силового оборудования разрабатываемой системы электроснабжения нужно ещё рассчитать и световую нагрузку района.

3 Расчет освещения

«Освещенность территорий района должна составлять не менее 10 лк.» [2], [10].

«Данной освещенности соответствует значение удельной мощности 0,7 Вт/м²» [6].

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

$$P_0 = F \cdot S \cdot K_{CO} \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где F – площадь освещения, м²;

S – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м²;

K_{CO} – коэффициент спроса освещения» [6].

Площадь, которую нужно освещать в рассматриваемом районе равна – 15 га.

Коэффициент спроса для источников освещения составляет 0,9.

Выводы по разделу

Проведенный расчет показал, что для питания потребителей рассматриваемого района требуется мощность, равная 7155,64 кВА.

Активная мощность, расходуемая источниками уличного света и идущая на освещение дворов, улиц и площадок, составляет 94,5 кВт.

4 Выбор числа и мощности трансформаторов

Электропитание района производится от внешних сетей классом 110 кВ. Внутри района используется напряжение классом 10 кВ.

«Напряжение сети 380/220В при глухо-заземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S» [11].

Категории надежности потребителей района отличаются друг от друга.

«III категория надежности соответствует зданиям при количестве этажей 1-8, а от 9 этажей – II категория надежности» [4],[11].

Также ко II категории надежности относятся: аптека, универсам, отделение банка, общепит, университет, колледж, торгово-развлекательные центры и спортивный зал.

К I категории надежности относятся: медицинский центр и детский сад.

Принимаем подстанции с двумя трансформаторами, так как на территории района находятся сооружения I категории.

«Расчет мощности трансформаторов района города проводим по способу удельной плотности нагрузок.

Удельная мощность:

$$\sigma = \frac{S}{F} \quad (8)$$

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

где S – полная расчетная мощность района, кВА;

F – площадь района, м²» [4]

«Поскольку плотность нагрузки выше восьми, то необходимо рассматривать трансформаторы выше 630 кВА. Наиболее оптимальная нагрузка распределительного пункта должна составлять 12 МВт.

Для возмещения реактивной мощности необходимо установить конденсаторные батареи.

Количество КТП определим по следующей формуле:

$$N = \frac{S}{k_3 S_{HT}} \quad (9)$$

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

k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов.

Разберем несколько вариантов электропитания потребителей района города Самарской области:

- ТМГ630 10/0,4 – 8 КТП;
- ТМГ1000 10/0,4 – 5 КТП;
- ТМГ1250 10/0,4 – 4 КТП.

ТМГ630 отличается большими потерями, чем ТМГ1250 и это при том, что КТП с ТМГ630 больше в два раза. Исходя из этого мы выберем ТМГ1000 10/0,4 и ТМГ1250 10/0,4.

Найдем также центры электрических нагрузок (ЦЭН) района города Самарской области» [4].

«ЦЭН района города:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i} \quad (10)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [13].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (11)$$

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

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [13].

Расчеты центров электрически нагрузок с трансформаторами ТМГ1000
10/0,4:

- КТП1: $k_3 = 0,65$; $x_{ц} = 339,29$; $y_{ц} = 136,89$;

- КТП2: $k_3 = 0,77$; $x_{ц} = 440,20$; $y_{ц} = 357,59$;

- КТП3: $k_3 = 0,67$; $x_{ц} = 291,12$; $y_{ц} = 447,88$;

- КТП4: $k_3 = 0,73$; $x_{ц} = 76,61$; $y_{ц} = 155,27$;

- КТП5: $k_3 = 0,70$; $x_{ц} = 122,87$; $y_{ц} = 405,33$;

Расчеты центров электрически нагрузок с трансформаторами ТМГ1250
10/0,4:

- КТП1: $k_3 = 0,71$; $x_{ц} = 414,48$; $y_{ц} = 213,96$;

- КТП2: $k_3 = 0,70$; $x_{ц} = 357,11$; $y_{ц} = 448,74$;

- КТП3: $k_3 = 0,74$; $x_{ц} = 110,05$; $y_{ц} = 159,37$;

- КТП4: $k_3 = 0,68$; $x_{ц} = 142,27$; $y_{ц} = 400,43$;

Данные проведенных расчетов отражаются на рисунке 2 для трансформаторов ТМГ 1000 и на рисунке 3 для трансформаторов ТМГ 1250.

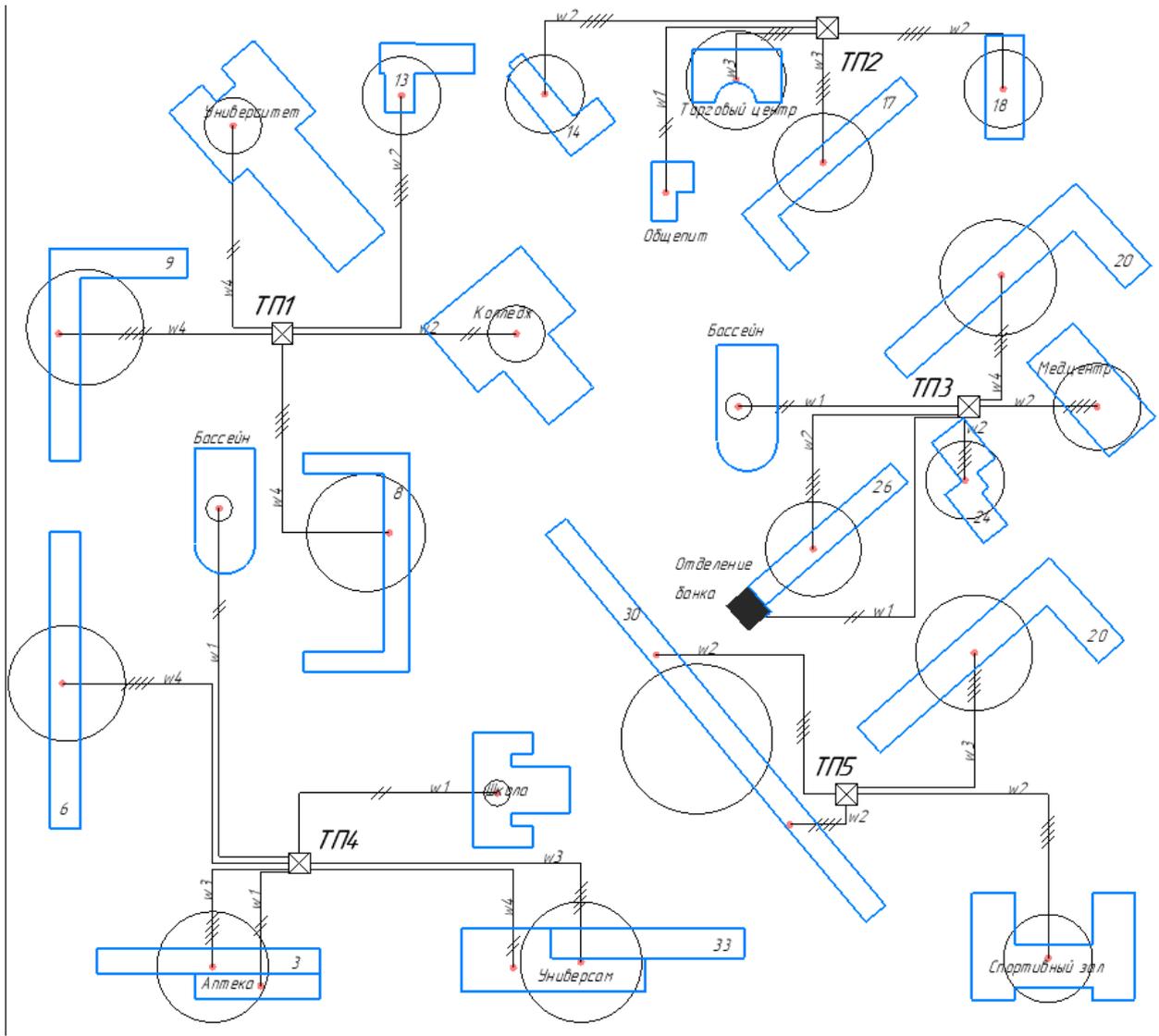


Рисунок 2 – План расстановки КТП с ТМГ1000 10/0,4

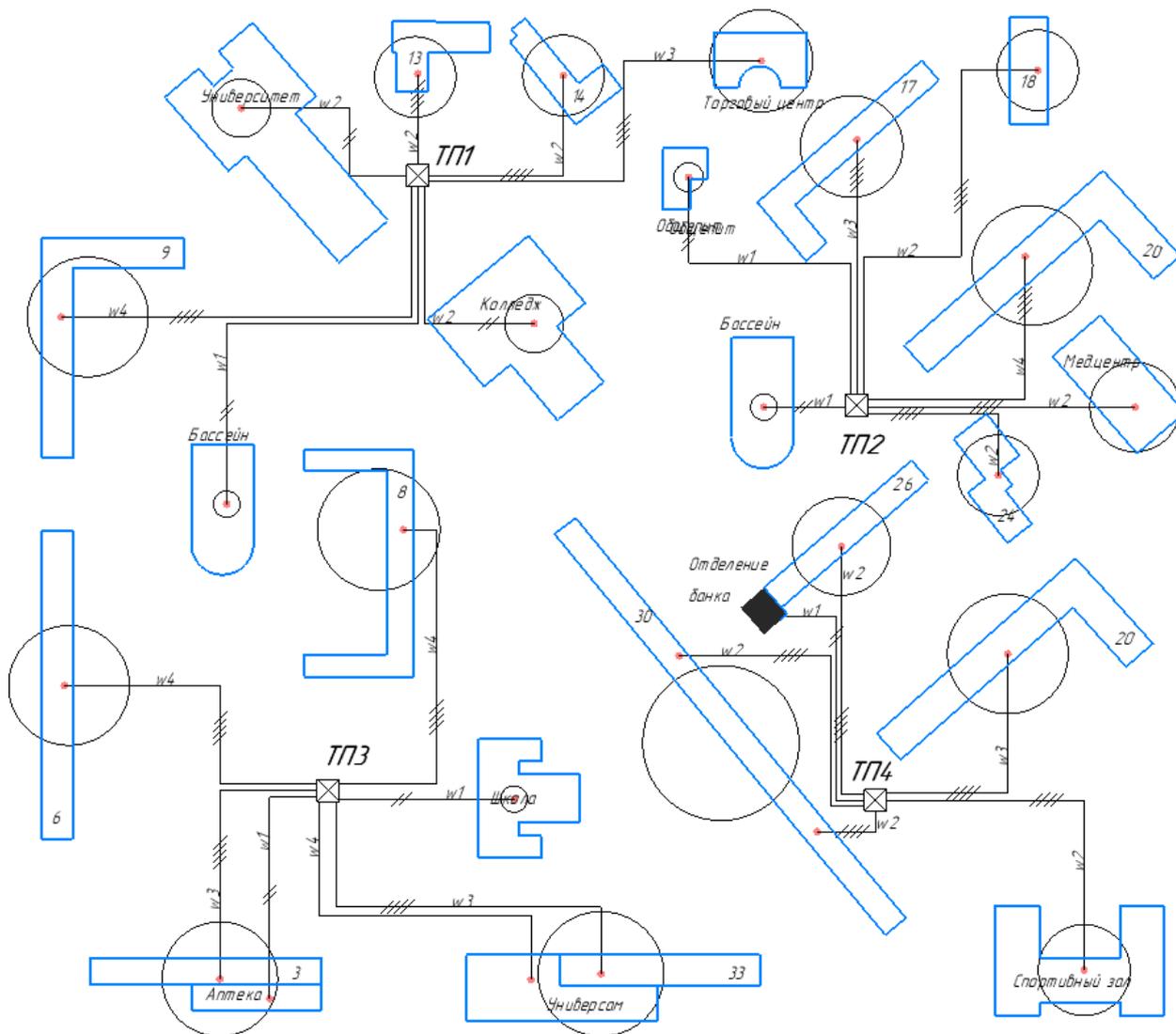


Рисунок 3 – План расстановки КТП с ТМГ1250 10/0,4

Выводы по разделу

Для выбора оптимальной схемы электроснабжения района проведено сравнение трех вариантов конфигураций электропитающих сетей с трансформаторами типа ТМГ мощностью 630 кВА, 1000 кВА и 1250 кВА. При этом выявлено, что трансформатор ТМГ мощностью 630 кВА по ряду причин использовать не перспективно. Поэтому для дальнейшего сравнения технико-экономических показателей сетей будем использовать только два трансформатора – ТМГ-1000 и ТМГ-1250.

5 Выбор схемы электроснабжения потребителей

«Разберем радиальную и магистральную двухлучевую схему распределительных сетей, основываясь на категории надежности потребителей и установки комплектной трансформаторной подстанции.

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» [24].

Кабели необходимо смонтировать, исходя из места нахождения зданий и сооружений района. Электропитание трансформаторами ТМГ1000 и ТМГ1250 указаны в таблицах 9 и 10.

«Потребители, расположенные вблизи КТП целесообразно запитать отдельными кабельными линиями, не включая в магистральные схемы распределительных сетей» [25].

«Расчетный ток:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n} \quad (12)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [23].

«АПвБШп (Алюминиевая жила из сшитого полиэтилена с броней, без подушки, предохраняющей от коррозии и механических повреждений, защитный покров в виде выпрессованного шланга из полиэтилена) - Маркировка кабелей» [7].

«Расчетное сечение кабельных линий:

$$F = \frac{I}{j_{\text{ЭК}}} \quad (13)$$

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

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36.

$j_{\text{эк}} = 1,6 \text{ А/мм}^2$ поскольку $T_{\text{max}} > 5300 \text{ ч}$ [12].

«Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}} \quad (14)$$

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» [11]. Допускаем $k_{\text{ж}} = 0,92$.

«Для сетей 0,4кВ допускаются потери напряжения не более 5%» [18].

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_{\text{ном}}} l \quad (15)$$

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

l – длина кабеля, км;

P , Q – активная и реактивная мощность, проходящая через кабель» [13].

Расчетные данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Электропитание трансформаторами ТМГ1000

Наименование	P , кВт	Q , квар	S , кВА	$I_{\text{раб}}$, А	$I_{\text{пав}}$, А	$F_{\text{расч}}$, мм ²	F , мм ²	$I_{\text{доп.справ}}$, А	$I_{\text{доп.раб}}$, А	$I_{\text{доп.пав}}$, А
Дом №13	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №9	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №8	393,84	121,80	417,62	150,70	301,39	94,18	120	295	230,15	258,92
Университет	84,00	30,24	89,28	32,22	64,43	20,13	25	115	89,72	100,93
Колледж	84,00	30,24	89,28	32,22	64,43	20,13	25	115	89,72	100,93
Дом №14	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №17	305,64	105,14	329,59	118,93	237,86	74,33	95	255	198,94	223,81
Дом №18	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Общепит	28,80	10,37	30,61	11,05	22,09	6,90	10	70	54,61	61,44
Торгово-развлекательные центры	457,60	210,50	503,69	181,75	363,51	113,60	120	295	230,15	258,92
Дом №20	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №24	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №26	254,70	87,62	274,66	99,11	198,22	61,94	95	255	198,94	223,81
Отделение банка	27,00	13,77	30,31	10,94	21,87	6,84	10	70	54,61	61,44
Бассейн	32,80	9,51	34,15	12,32	24,65	7,70	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 1

Наименование	P , кВт	Q , квар	S , кВА	$I_{\text{раб}}$, А	$I_{\text{пав}}$, А	$F_{\text{расч}}$, мм ²	F , мм ²	$I_{\text{доп.справ}}$, А	$I_{\text{доп.раб}}$, А	$I_{\text{доп.пав}}$, А
Медицинский центр	255,85	150,95	297,06	107,19	214,39	67,00	95	255	198,94	223,81
Дом №6	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №3	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №33	254,70	87,62	274,66	99,11	198,22	61,94	95	255	198,94	223,81
Бассейн	32,80	9,51	34,15	12,32	24,65	7,70	10	70	54,61	61,44
Школа	32,80	9,51	34,15	12,32	24,65	7,70	10	70	54,61	61,44
Аптека	31,50	14,49	34,67	12,51	25,02	7,82	10	70	54,61	61,44
Универсам	311,40	143,24	342,77	123,69	247,37	77,30	70	210	163,83	184,31
Дом №28	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №30 подъезд 1-4	292,14	88,04	308,59	111,35	222,70	69,59	95	255	198,94	223,81
Дом №30 подъезд 5-9	292,14	88,04	308,59	111,35	222,70	69,59	95	255	198,94	223,81
Спортивный зал	360,00	183,60	404,12	145,82	291,64	91,14	95	255	198,94	223,81

Таблица 2 – Электропитание трансформаторами ТМГ1250

Наименование	P , кВт	Q , квар	S , кВА	$I_{\text{раб}}$, А	$I_{\text{пав}}$, А	$F_{\text{расч}}$, мм ²	F , мм ²	$I_{\text{доп.справ}}$, А	$I_{\text{доп.раб}}$, А	$I_{\text{доп.пав}}$, А
Дом №13	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №14	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №9	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Бассейн	32,80	9,51	34,15	12,32	24,65	7,70	10	70	54,61	61,44
Университет	84,00	30,24	89,28	32,22	64,43	20,13	25	115	89,72	100,93
Колледж	84,00	30,24	89,28	32,22	64,43	20,13	25	115	89,72	100,93
Торгово-развлекательные центры	457,60	210,50	503,69	181,75	363,51	113,60	120	295	230,15	258,92
Дом №18	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №24	318,88	102,37	340,08	122,72	245,43	76,70	95	255	198,94	223,81
Дом №17	305,64	105,14	329,59	118,93	237,86	74,33	95	255	198,94	223,81
Дом №20	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Медицинский центр	255,85	150,95	297,06	107,19	214,39	67,00	95	255	198,94	223,81
Бассейн	32,80	9,51	34,15	12,32	24,65	7,70	10	70	54,61	61,44
Общепит	28,80	10,37	30,61	11,05	22,09	6,90	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 2

Наименование	P , кВт	Q , квар	S , кВА	$I_{\text{раб}}$, А	$I_{\text{пав}}$, А	$F_{\text{расч}}$, мм ²	F , мм ²	$I_{\text{доп.справ}}$, А	$I_{\text{доп.раб}}$, А	$I_{\text{доп.пав}}$, А
Дом №6	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №18	393,84	121,80	417,62	150,70	301,39	94,18	120	295	230,15	258,92
Дом №3	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №33	254,70	87,62	274,66	99,11	198,22	61,94	95	255	198,94	223,81
Школа	32,80	9,51	34,15	12,32	24,65	7,70	10	70	54,61	61,44
Аптека	31,50	14,49	34,67	12,51	25,02	7,82	10	70	54,61	61,44
Универсам	143,24	342,77	342,77	123,69	247,37	77,30	70	210	163,83	184,31
Дом №28	348,88	114,81	373,52	134,78	269,56	84,24	120	295	230,15	258,92
Дом №30 подъезд 1-4	292,14	88,04	308,59	111,35	222,70	69,59	95	255	198,94	223,81
Дом №30 подъезд 5-9	292,14	88,04	308,59	111,35	222,70	69,59	95	255	198,94	223,81
Дом №26	254,70	87,62	274,66	99,11	198,22	61,94	95	255	198,94	223,81
Спортивный зал	360,00	183,60	404,12	145,82	291,64	91,14	95	255	198,94	223,81
Отделение банка	27,00	13,77	27,00	9,74	19,49	6,09	10	70	54,61	61,44

Потери в кабеле при электропитании трансформаторами ТМГ-1000 составили:

- для дома № 13 – 2,43 %;
- для дома № 9 – 1,39 %;
- для дома № 8 – 2,65 %;
- для университета - 1,67 %;
- для колледжа – 1,68 %;
- для дома № 14 – 2,42 %;
- для дома № 17 – 1,53 %;
- для дома № 18 – 1 %;
- для общепита – 1,86 %;
- для ТРЦ – 1,21 %;
- для дома № 20 – 0,53 %;
- для дома № 24 – 1,15 %;
- для дома № 26 – 0,16 %;
- для банка – 1,96 %;
- для бассейна – 0,80 %;
- для медцентра – 1,34 %;
- для дома № 6 – 2,63 %;
- для дома № 3 – 1,14 %;
- для дома № 33 – 2,06 %;
- для школы – 1,84 %;
- для аптеки – 1,65 %;
- для универсама – 3,42 %;
- для дома № 28 – 1,64 %;
- для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 1,95 %;
- дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 0,53 %;
- для спортзала – 0,3 %;
- для бассейна – 0,93 %.

Потери в кабеле при электропитании трансформаторами ТМГ-1250 составили:

- для дома № 13 – 0,3 %;
- для дома № 9 – 1,52 %;
- для дома № 8 – 2,55 %;
- для университета - 1,67 %;
- для колледжа – 3,32 %;
- для дома № 14 – 3,27%;
- для дома № 17 – 1,79 %;
- для дома № 18 – 1,49 %;
- для общепита – 2,08 %;
- для ТРЦ – 3,76 %;
- для дома № 20 – 1,89 %;
- для дома № 24 – 3,41 %;
- для дома № 26 – 2,02 %;
- для банка – 1,96 %;
- для бассейна – 1,58 %;
- для медцентра – 1,58 %;
- для дома № 6 – 2,16 %;
- для дома № 3 – 1,15 %;
- для дома № 33 – 1,61 %;
- для школы – 2,76 %;
- для аптеки – 1,41 %;
- для универсама – 1,87 %;
- для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 1,96 %;
- дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 0,48 %;
- для спортзала – 1,97 %;
- для бассейна – 0,67 %.

Чтобы выбрать мощность трансформатора нам следует произвести расчеты.

Цена трансформатора ТМГ-1000/10/0,4 равна 278 000 рублей.

Цена трансформатора ТМГ-1250/10/0,4 равна 320 000 рублей.

«Максимальная потеря часов за год работы трансформатора:

$$\delta_M = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{max}}{10000}\right)^2 \quad (16)$$

где σ_{max} – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч». [4] В данном проекте 5300ч.

«Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\Delta W_{год.т} = \Delta P_{xx.т} \cdot T_T \cdot n_T + \Delta P_{кз.т} \cdot \left(\frac{S_{p.гр\Sigma}}{S_{н.тр}}\right)^2 \cdot \delta_M \cdot \frac{1}{n_T} \quad (17)$$

где T_T – количество рабочих часов трансформатора, ч/год.

Денежные издержки одного трансформатора:

$$I_{год.т} = \rho_{a.т} \cdot K_T + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{max}} + \vartheta\right) \cdot \Delta W_{год.тр} \cdot 10^{-5} \quad (18)$$

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

γ – стоимость 1 кВт мощности по договору;

ϑ – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

K_T – стоимость трансформатора, тыс. руб.» [4]

«Стоимость трансформатора:

$$Z_T = p_{н.т} \cdot K_T + I_{год.т} \quad (19)$$

где $p_{н.т}$ – показатель экономической эффективности.» [13].

При осуществлении технико-экономических расчетов мы получили такие результаты: Комплектная трансформаторная подстанция 1000/10/0,4 выгоднее Комплектной трансформаторной подстанции 1250/6/0,4 для электропитания района города.

Габариты кабельной траншеи:

- глубина – 1 м
- ширина – 0,8 м.

«Цена кабеля определена по каталогу электротехнической продукции»

[7].

«Общая стоимость капиталовложений для прокладки кабельных линий:

$$Z = K_{\text{прокл}} + K_{\text{каб}} + K_{\text{земл}} = (C_{\text{прокл}} + C_{\text{каб}})L + V_{\text{земл}}C_{\text{земл}} \quad (20)$$

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

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

$V_{\text{земл}}$ – объем земляных работ, м³;

$C_{\text{земл}}$ – стоимость земляных работ (включает разработку грунта 800 руб/м³ и обратную засыпку 350 руб/м³)» [7], [15].

Цена монтажа кабеля с трансформаторами ТМГ-1000 составили:

для дома № 13 – 53 320 рублей;

для дома № 9 – 37 740 рублей;

для дома № 8 – 51 680 рублей;

для университета – 23 595 рублей;

для колледжа – 23 790 рублей;

для дома № 14 – 53 010 рублей;

для дома № 17 – 34 720 рублей;

для дома № 18 – 22 010 рублей;

для общепита – 25 920 рублей;

для ТРЦ – 24 140 рублей;

для дома № 20 – 14 280 рублей;
для дома № 24 – 25 110 рублей;
для дома № 26 – 4 402 рублей;
для банка – 28 960 рублей;
для бассейна – 9 760 рублей;
для медцентра – 34 410 рублей;
для дома № 6 – 71 400 рублей;
для дома № 3 – 30 940 рублей;
для дома № 33 – 56 110 рублей;
для школы – 22 560 рублей;
для аптеки – 20 960 рублей;
для универсама – 48 870 рублей;
для дома № 28 – 44 540 рублей;
для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 46 810 рублей;
дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 12 710 рублей;
для спортзала – 5 580 рублей;
для бассейна – 11 360 рублей.

Стоимость кабеля с трансформаторами ТМГ- 1000 составили:

для дома № 13 – 79 636 рублей;
для дома № 9 – 58 719 рублей;
для дома № 8 – 80 408 рублей;
для университета – 21 175 рублей;
для колледжа – 21 350 рублей;
для дома № 14 – 79 173 рублей;
для дома № 17 – 51 856 рублей;
для дома № 18 – 32 873 рублей;
для общепита – 14 256 рублей;
для ТРЦ – 37 559 рублей;
для дома № 20 – 22 218 рублей;
для дома № 24 – 37 503 рублей;

для дома № 26 – 6 574, 6 рублей;
для банка – 15 928 рублей;
для бассейна – 5 368 рублей;
для медцентра – 51 393 рублей;
для дома № 6 – 111 090 рублей;
для дома № 3 – 48 139 рублей;
для дома № 33 – 83 803 рублей;
для школы – 12 408 рублей;
для аптеки – 11 528 рублей;
для универсама – 59 730 рублей;
для дома № 28 – 69 299 рублей;
для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 69 913 рублей;
дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 18 983 рублей;
для спортзала – 8 334 рублей;
для бассейна – 6 248 рублей.

Стоимость земляных работ с трансформаторами ТМГ- 1000 составили:

для дома № 13 – 158 240 рублей;
для дома № 9 – 102 120 рублей;
для дома № 8 – 139 840 рублей;
для университета – 111 320 рублей;
для колледжа – 112 240 рублей;
для дома № 14 – 157 320 рублей;
для дома № 17 – 103 040 рублей;
для дома № 18 – 65 320 рублей;
для общепита – 149 040 рублей;
для ТРЦ – 65 320 рублей;
для дома № 20 – 38 640 рублей;
для дома № 24 – 74 520 рублей;
для дома № 26 – 13 040 рублей;
для банка – 166 520 рублей;

для бассейна – 56 120 рублей;
для медцентра – 102 120 рублей;
для дома № 6 – 193 200 рублей;
для дома № 3 – 83 720 рублей;
для дома № 33 – 166 520 рублей;
для школы – 129 720 рублей;
для аптеки – 120 520 рублей;
для универсама – 166 520 рублей;
для дома № 28 – 120 520 рублей;
для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 138 920 рублей;
дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 37 720 рублей;
для спортзала – 16 560 рублей;
для бассейна – 65 320 рублей.

Стоимость прокладки кабеля с трансформаторами ТМГ 1250 составили:

для дома № 13 – 6 510 рублей;
для дома № 9 – 41 140 рублей;
для дома № 8 – 61 540 рублей;
для университета – 23 595 рублей;
для колледжа – 46 995 рублей;
для дома № 14 – 71 610 рублей;
для дома № 17 – 40 610 рублей;
для дома № 18 – 32 550 рублей;
для общепита – 28 960 рублей;
для ТРЦ – 75 140 рублей;
для дома № 20 – 51 340 рублей;
для дома № 24 – 74 710 рублей;
для дома № 26 – 13 020 рублей;
для банка – 49 140 рублей;
для бассейна – 19 360 рублей;
для медцентра – 40 610 рублей;

для дома № 6 – 58 480 рублей;
для дома № 3 – 31 280 рублей;
для дома № 33 – 44 020 рублей;
для школы – 33 760 рублей;
для аптеки – 17 920 рублей;
для универсама – 43 740 рублей;
для дома № 28 – 44 540 рублей;
для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 40 610 рублей;
дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 47 120 рублей;
для спортзала – 37 510 рублей;
для бассейна – 8 160 рублей.

Стоимость кабеля с трансформаторами ТМГ 1250 составили:

для дома № 13 – 9 723 рублей;
для дома № 9 – 64 009 рублей;
для дома № 8 – 95 749 рублей;
для университета – 21 175 рублей;
для колледжа – 42 175 рублей;
для дома № 14 – 106 953 рублей;
для дома № 17 – 60 653 рублей;
для дома № 18 – 48 615 рублей;
для общепита – 15 928 рублей;
для ТРЦ – 116 909 рублей;
для дома № 20 – 79 879 рублей;
для дома № 24 – 111 583 рублей;
для дома № 26 – 19 446 рублей;
для банка – 16 016 рублей;
для бассейна – 10 648 рублей;
для медцентра – 60 653 рублей;
для дома № 6 – 90 988 рублей;
для дома № 3 – 48 668 рублей;

для дома № 33 – 65 746 рублей;
для школы – 18 568 рублей;
для аптеки – 9 856 рублей;
для универсама – 53 460 рублей;
для дома № 28 – 69 299 рублей;
для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 60 653 рублей;
дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 70 376 рублей;
для спортзала – 56 023 рублей;
для бассейна – 4 488 рублей.

Стоимость земляных работ с трансформаторами ТМГ 1250 составили:

для дома № 13 – 19 320 рублей;
для дома № 9 – 113 320 рублей;
для дома № 8 – 166 520 рублей;
для университета – 111 320 рублей;
для колледжа – 221 720 рублей;
для дома № 14 – 212 520 рублей;
для дома № 17 – 120 520 рублей;
для дома № 18 – 96 600 рублей;
для общепита – 166 520 рублей;
для ТРЦ – 203 320 рублей;
для дома № 20 – 138 920 рублей;
для дома № 24 – 221 720 рублей;
для дома № 26 – 38 640 рублей;
для банка – 167 440 рублей;
для бассейна – 113 320 рублей;
для медцентра – 120 520 рублей;
для дома № 6 – 158 240 рублей;
для дома № 3 – 84 640 рублей;
для дома № 33 – 130 640 рублей;
для школы – 194 120 рублей;

для аптеки – 103 040 рублей;
для универсама – 149 040 рублей;
для дома № 28 – 120 520 рублей;
для дома № 30 подъезд с 1 по 4 – 120 520 рублей;
дом № 30 подъезд с 5 по 9 – 139 840 рублей;
для спортзала – 111 320 рублей;
для бассейна – 46 920 рублей.

Выводы по разделу

Вложения, требуемые для создания системы электропитания городского района с двумя трансформаторами типа ТМГ–1000 составили четыре миллиона восемьсот восемь тысяч рублей, а с двумя трансформаторами типа ТМГ–1250 – шесть миллионов девятьсот девять тысяч рублей. Очевидно, что строительство комплектной трансформаторной подстанции на основе двух трансформаторов ТМГ–1000 требует меньших затрат денежных средств по сравнению с вариантом, в котором применяются ТМГ–1250. В данный момент этот факт является определяющим критерием. Поэтому делаем выбор в пользу сети с двумя трансформаторами ТМГ–1000.

6 Расчет токов короткого замыкания

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

Чтобы определить токи короткого замыкания нам нужно использовать формулы, методики нормативно-технических документов и ГОСТЫ. Расчёт сделаем в относительных единицах (о.е.)» [16].

«Ток от системы до комплектной трансформаторной подстанции:

$$I_{c/тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (21)$$
$$I_{c/тр} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ А}$$

Сечение по экономической плотности тока $J_{эк}=1,1$ А/мм²:

$$S_{c/тр} = \frac{I_{c/тр}}{J_{эк}} \quad (22)$$
$$S_{c/тр} = \frac{55}{1,1} = 50 \text{ мм}^2$$

Ближайшим номинальным сечением является 50 мм². Согласно ПУЭ, для ААБл 3х50-10 допустимый ток составляет 134 А. При аварийном отключении одного трансформатора кабель выдержит проходящий ток» [14], [19].

«Активное сопротивление кабеля $r_{уд.1}=0,62$ Ом/км и индуктивное сопротивление кабеля $x_{уд.1}=0,09$ Ом/км» [16]. Километраж кабельной линии от точки питания до комплектной трансформаторной подстанции $l_{кл.1}=1000$ м.

«Индуктивное и активное сопротивление кабеля:

$$r_{кл.1} = r_{уд.1} \cdot l_{кл.1} \quad (23)$$

$$x_{\text{КЛ.1}} = x_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{КЛ.1}} \quad (24)$$

Получаем: $r_{\text{КЛ.1}}=90$ Ом, $x_{\text{КЛ.1}}=620$ Ом.

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_6^2}{S_{\text{сист}}} \quad (25)$$

$$x_c = \frac{10,5^2}{500} = 0,22 \text{ Ом}$$

В процессе расчетов мы получили - К1: $r_{\text{К.1}}=310,5$ мОм; $x_{\text{К.1}}=620$ мОм. Составим расчетную схему, а также схему замещения цепи с определением точек короткого замыкания (рисунок 4) » [16].

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

Сопротивление системы для низкого напряжения:

$$x_{\text{с.НН}} = \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{сист}}} \quad (26)$$

$$x_{\text{с.НН}} = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм}$$

Реактивное сопротивление ТМГ1000/10/0,4;

$$x_T = \sqrt{u_{\text{КЗ.Т}}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{КЗ.Т}}}{S_{\text{н.тр}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{н.тр}}} \cdot 10^4 \quad (27)$$

$$x_T = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,63 \text{ мОм}$$

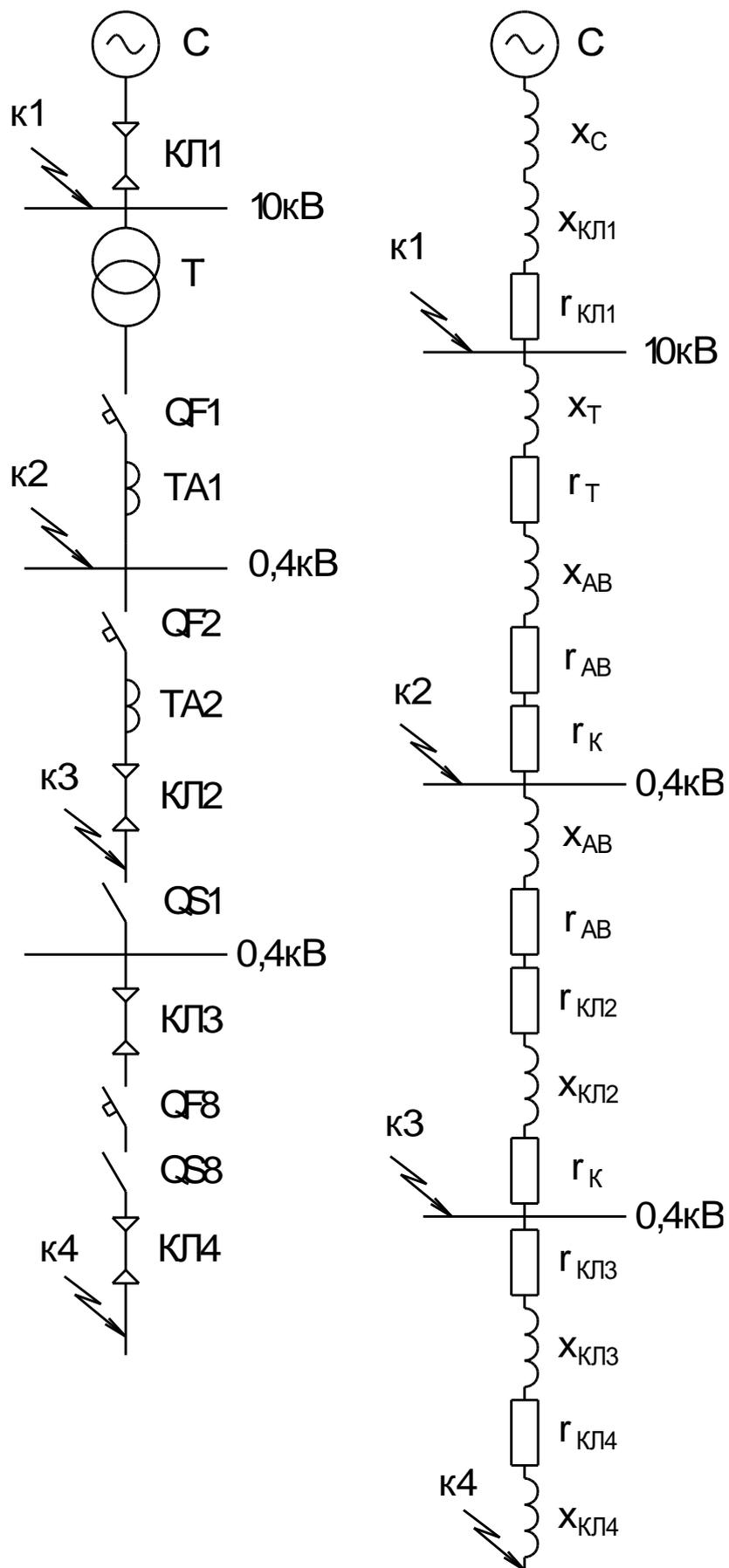


Рисунок 4 – Расчетная схема и схема замещения» [11].

«Активное сопротивление ТМГ1000/10/0,4:

$$r_T = \frac{P_{кз.т} \cdot U_{нн}^2}{S_{н.тр}^2} \cdot 10^6 \quad (28)$$

$$r_T = \frac{10,8 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,73 \text{ МОм}$$

Сопротивление цепи от системы до точки К2:

$$r_{рез.2} = r_{кл.1} + r_T + r_K + r_{кв} + r_{тт} \quad (29)$$

$$x_{рез.2} = x_{кл.1} + x_T + x_{кв} + x_{тт} + x_C \quad (30)$$

Получаем следующие значения сопротивлений цепи: $r_{рез.2} = 24,82 \text{ МОм}$,
 $x_{рез.2} = 29,49 \text{ МОм}$ » [11].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей:

$$I_{п.0} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3 \cdot (r_{рез.2}^2 + x_{рез.2}^2)}} \quad (31)$$

Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ:

$$\psi = \arctg\left(\frac{x_{сумм2}}{r_{сумм2}}\right) \quad (32)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi}{\pi} \quad (33)$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей ТКЗ:

$$T_{a.K} = \frac{x_{рез.2}}{r_{рез.2} \cdot \omega} \quad (34)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{уд.К} = (1 + \sin\psi \cdot e^{\frac{-\zeta}{T_a}}) \quad (35)$$

Ударный ток определяем по выше указанной формуле.

K1 составил 1,4; K2 составил 1,3; K3 составил 1,2; K4 составил 1,2.

Выводы по разделу

При расчете токов короткого замыкания были выбраны четыре точки. Одна точка на стороне выше 1000 В, другие три – на стороне ниже 1000 В. Чем дальше точка короткого замыкания, тем меньше ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

Полученные значения токов короткого замыкания нужны для выбора оборудования комплектной трансформаторной подстанции» [7],[8].

7 Выбор оборудования трансформаторных подстанций

Далее рассчитаем требуемое оборудование на примере нагрузок КТП-2.
«Сделаем расчеты термической и электродинамической стойкостей.

Ток термической стойкости точки К2:

$$B_K = I_{п.0}^2 (T_a + t_{п.в}) \quad (36)$$
$$B_K = 5,99^2 \cdot (2,65 + 30) \cdot 10^{-3} = 1,17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (37)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

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

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [20].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ:

$$i_{a.\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_a}} \quad (38)$$
$$i_{a.\gamma} = \sqrt{2} \cdot 5,99 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,65}} = 8,31 \text{ кА}$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{a.н} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (39)$$
$$i_{a.н} = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 18,73 \text{ кА}$$

где I_{δ} – ток отключения выключателя, кА.

Проверку правильности выбора оборудования сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Проверка параметров

Расчетный параметр	Сравниваемый параметр	Автоматически й выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{max}=1114$ А	$I_{раб}$	1250 А	1200 А	1250 А
$I_{п.0}=5,99$ кА	I_{δ}	10 кА	–	–
$i_{\omega}=8,31$ кА	$i_{а.н}$	13,11 кА	–	–
$i_{уд.к}=18,73$ кА	$i_{пр.с}$	20 кА	20 кА	20 кА
$B_K=1,17$ кА ² ·с	$B_{K.ном}$	10 кА ² ·с	10 кА ² ·с	10 кА ² ·с

План комплектной трансформаторной подстанции и компоновка оборудования указаны на рисунках 5 и 6.

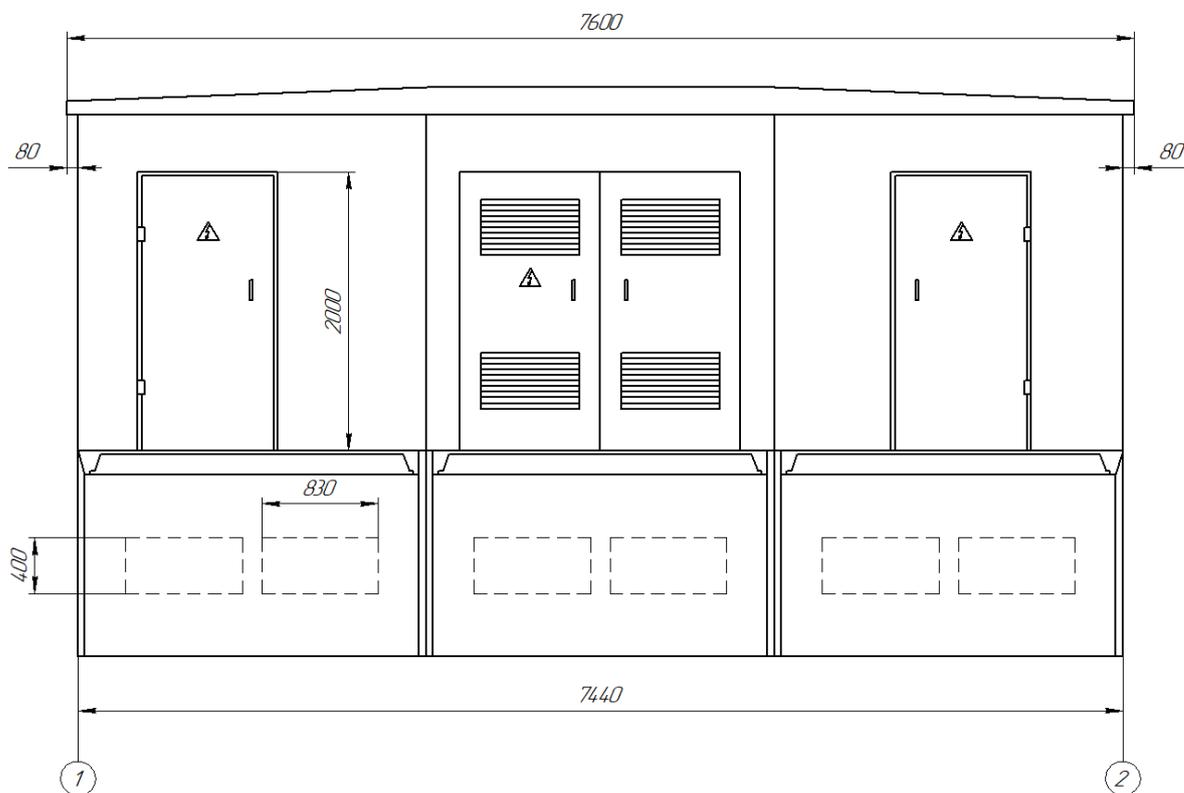


Рисунок 5 – План КТП с ТМГ1000/10/0,4

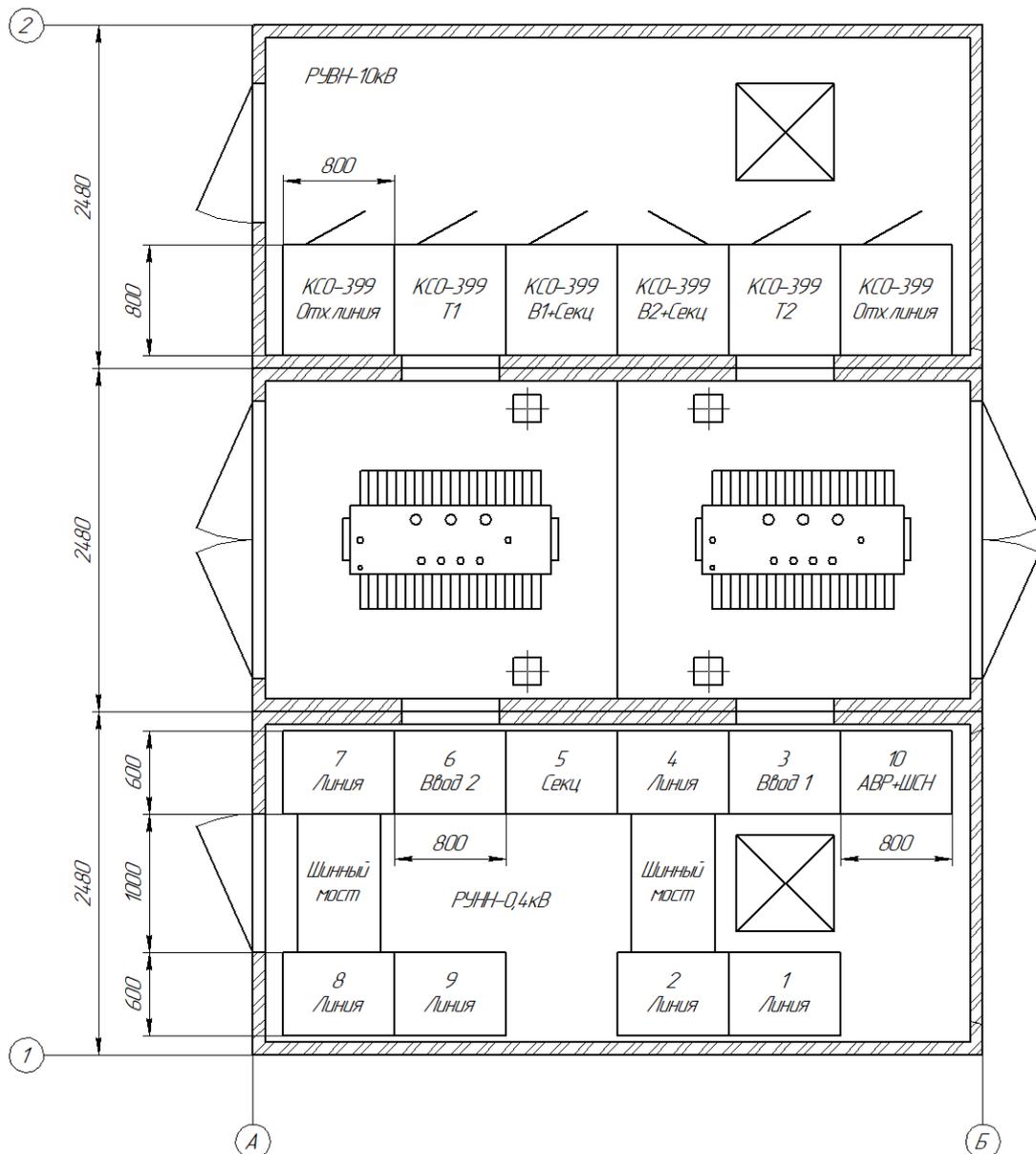


Рисунок 6 – Компоновка оборудования КТП с ТМГ1000/10/0,4

Теперь требуется заземление комплектной трансформаторной подстанции. » [17] [20].

Выводы по разделу

В рамках этого раздела разработана компоновка для десяти однотипных комплектных трансформаторных подстанций городского района.

8 Расчет заземления трансформаторных подстанций

Заземление от подстанций до зданий рассчитаны по системе TN-S, а на вводах здания – TN-C-S.

«На КТП необходимо смонтировать контур защитного заземления из металлической полосы 25х4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [22].

«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.

Рассчитаем заземление по формулам.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left(\ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right) \quad (40)$$

$$R_{в.з} = \frac{98}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,9}{0,017} + 0,5 \ln \frac{8 + 2,9}{8 - 2,9} \right) = 33,5 \text{ Ом}$$

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

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

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

$T_{в.з}$ – заглубление, м.

Сопротивление горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}} \quad (41)$$

$$R_{г.з} = \frac{98}{2\pi \cdot 19,7} \cdot \ln \frac{2 \cdot 19,7^2}{0,06 \cdot 0,4} = 8,22 \text{ Ом}$$

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

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

$L_{г.з}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м.

Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{ni}n_i}{R_i}} \quad (42)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,68}{33,5} + \frac{1 \cdot 0,68}{8,22}} = 1,69 \text{ Ом}$$

где n_i – число комплектов;

k_{ni} – коэффициент использования» [3], [11].

Сопротивление заземляющего устройства находится в пределах допустимого.

«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» [11].

«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» [3].

«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» [11],[21].

Выводы по разделу:

Разработанное заземляющее устройство соответствует всем необходимым правилам и требованиям ПУЭ. Молниезащита зданий также выполнена с соблюдением требований нормативных документов и правил.

Заключение

В представленной ВКР разработана система электроснабжения района города Самарской области. В качестве исходных данных для этой работы использованы сведения о наиболее типичных зданиях городских районов, о наиболее распространённых значениях удельной производительности мест общего пользования общественно-бытового назначения и нагрузки жилых домов. При этом выявлено, что для питания потребителей рассматриваемого района требуется мощность, равная 7155,64 кВА.

В результате выполнения работы предложено для электроснабжения района города использовать десять комплектных двухтрансформаторных подстанций номиналом 1000/10/0,4, что, как оказалось выгоднее, чем восемь КТП типа 1250/10/0,4.

Выбор силового оборудования произведен на основе расчёта токов короткого замыкания, который выполнялся для четырех контрольных точек. В частности, первая точка выбрана на стороне 10 кВ, а все три оставшиеся взяты стороне ниже 1 кВ.

«Точки короткого замыкания взяты на ступенях цепи до наиболее мощного электроприемника. Чем дальше точка короткого замыкания, тем ниже ударные токи и их начальная периодическая составляющая. Благодаря расчетам токов короткого замыкания было проверено оборудование, расположенное в комплектных трансформаторных подстанциях. Данное оборудование прошло проверку на электродинамическую стойкость и термическую стойкость» [16].

Для обеспечения безопасной эксплуатации КТП в ВКР произведен расчёт элементов заземления и молниезащиты оборудования, являющихся однотипными для всех десяти комплектных трансформаторных подстанций, обеспечивающих электроснабжения рассматриваемого района города.

Таким образом, цель работы достигнута, а именно проект системы электроснабжения района разработан.

Список используемых источников

1. Бондаренко С. И. Электроснабжение городов. Иркутск: ИРННТУ, 2020. 138 с.
2. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил 52.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Министра России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 26.08.2022).
3. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-meru-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 26.08.2022).
4. 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: 26.08.2022).
5. 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: 26.08.2022).
6. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс]: Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 26.08.2022).
7. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс]: Официальный сайт ЭлектроКомплект - Сервис. URL: <https://e-кc.ru/price/cable-арvbbshp> (дата обращения: 26.08.2022).
8. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 киловольта

[Электронный ресурс]: ГОСТ 28249-93 утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 26.08.2022).

9. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс]: Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 26.08.2022).

10. 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: 26.08.2022).

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

12. 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: 26.08.2022).

13. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс]: интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-ro-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 26.08.2022).

14. 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: 26.08.2022).

15. Стоимость проведения электромонтажных работ [Электронный ресурс]: Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://04-110kv.ru/nashi-tseny> (дата обращения: 26.08.2022).

16. 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: 26.08.2022).

17. 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: 26.08.2022).

18. 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: 26.08.2022).

19. 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: 26.08.2022).

20. 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: 26.08.2022).

21. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2017. p.259-264.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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*. 2020. p.34-44.