

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение жилого микрорайона

Студент

В.А. Иванов
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Д.А. Кретов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Темой ВКР является «Электроснабжение жилого микрорайона».

В данной работе проведен расчет электрических нагрузок жилых многоквартирных домов (МКД), поликлиник, школ, детских садов, а также других зданий культурно-бытового назначения, расположенных на территории микрорайона. На основании рассчитанных нагрузок были выбраны соответствующие силовые трансформаторы для их установки на трансформаторных подстанциях (ТП) микрорайона.

Далее, проведен расчет токов короткого замыкания (ТКЗ). На основании проведенных расчетов было выбрано электрооборудование ТП с учетом проведенных проверок на термическую и электродинамическую стойкость. Произведен расчет и выбор кабельных линий.

ВКР содержит 57 страницы, 19 таблиц, 8 рисунков, шесть чертежей, выполненных на форматах листа А1.

Abstract

The title of the thesis is "Power supply of the residential microdistrict".

The graduation work consists of an explanatory note on 57 pages, introduction, including 8 figures, 19 tables, the list of 24 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is to design an electric utility, to calculate and to select the electrical equipment, which is necessary to ensure high reliability and economy of the microdistrict.

To achieve this goal, we set a number of tasks. We give full coverage to the power supply system of the microdistrict, the calculation of electrical loads, lighting, cable sections, the selection fixtures, electrical equipment and devices is carried out. On the basis of the loads calculation the type, number and transformers power have been selected. The issues of energy efficiency and economic component are highlighted in the project's general part. The special part of the work gives details about the system of grounding and lightning protection of the building. The design and calculation of these parameters are mandatory in the design of the power supply system for buildings and structures, since this affects the life and safety of people.

The result of the graduation work is the following: the power supply system of the microdistrict was designed and the appropriate electrical equipment was selected.

Содержание

Введение.....	5
1 Расчет электрических нагрузок	6
2 Расчет освещения	14
3 Выбор числа и мощности трансформаторов	16
4 Техничко-экономическое сравнение вариантов	23
5 Расчет ТКЗ.....	40
5.1 Расчет ТКЗ выше 1 кВ.....	40
5.2 Расчет ТКЗ ниже 1 кВ	43
6 Выбор оборудования трансформаторных подстанций	48
7 Расчет заземления трансформаторных подстанций	51
Заключение	53
Список используемых источников.....	54

Введение

Тема данной работы является актуальной, поскольку каждый год проектируется и строится большое количество жилых, общественных, административных зданий. Помимо того, что к проектируемым объектам предъявляются все новые требования, при проектировании систем электроснабжения необходимо также использовать самые актуальные стандарты, нормы и правила. Все это имеет большое значение, поскольку от этого зависит надежность работы спроектированной системы электроснабжения, а также безопасность жизни и здоровья людей.

Целью данной работы является создание грамотно спроектированной, экономически выгодной, надежной и эффективной схемы электроснабжения микрорайона. Исходя из поставленной цели был проведен анализ потребителей электроэнергии, их характеристик и параметров, проведен расчет электрических нагрузок, по которому было выбрано соответствующее современное электрооборудование. Оно было выбрано по актуальным каталогам производителей.

Для достижения поставленной цели, которая включает в себя ряд задач были проведены необходимые расчеты. Первой задачей для достижения цели являлся расчет нагрузок, который также включал расчет осветительной нагрузки. Исходя из данных нагрузок были выбраны соответствующие трансформаторы и компенсирующие устройства. Далее был проведен расчет ТКЗ, по которому было выбрано электрооборудование ТП.

1 Расчет электрических нагрузок

Потребителями электроэнергии микрорайона являются:

- МКД;
- Светильники уличного освещения;
- Торговые центры;
- Поликлиники;
- Детские сады;
- Школы;
- Кафе и рестораны;
- Физкультурно-оздоровительные комплексы (ФОК);
- Аптеки;
- Гаражи, парковки и автостоянки.

Определим расчетную мощность МКД [3, 11]:

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

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.

Расчетные нагрузки силового электрооборудования МКД определяются 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.

К силовому оборудованию относятся установки системы вентиляции, насосы водоснабжения, лифтовое оборудование. [11]

Реактивная нагрузка потребителя микрорайона:

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

где $\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников.

Полная нагрузка потребителя микрорайона:

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

Результаты расчетов нагрузок силового электрооборудования МКД были занесены в таблицы 2, 3. [22]

Получив полную нагрузку по всем электроприемникам МКД, просуммируем значения и занесем их в таблицу 4. [23]

Удельные расчетные нагрузки на освещение общедомовых помещений были учтены в значениях удельных нагрузок на одну квартиру. [24]

К общедомовым помещениям относятся: лестничные клетки, подполья, технические этажи, чердаки.

Таблица 1 – Расчет нагрузок лифтового оборудования МКД микрорайона

МКД	Количество			Р _{кв.уд} , кВт/кв	n	P _н , кВт	k _с	cosφ	tgφ	P _л , кВт	Q _л , квар	S _л , кВА
	Подъездов	Этажей	Квартир									
12	3	16	192	1,36	3	7	0,75	0,65	1,17	15,75	18,43	24,24
13	3	16	192	1,36	3	7	0,75	0,65	1,17	15,75	18,43	24,24
17	3	16	192	1,36	3	7	0,75	0,65	1,17	15,75	18,43	24,24
23	3	16	192	1,36	3	7	0,75	0,65	1,17	15,75	18,43	24,24
2	6	12	288	1,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,27	33,25
5	6	12	288	1,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,27	33,25
32	4	12	192	1,36	8	4,5	0,5	0,65	1,17	18	21,06	27,70
8	6	12	288	1,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,27	33,25
16	5	12	240	1,27	10	4,5	0,5	0,65	1,17	22,5	26,33	34,63
19	6	12	288	1,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,27	33,25
25	4	12	192	1,36	8	4,5	0,5	0,65	1,17	18	21,06	27,70
27	6	12	288	1,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,27	33,25
7	5	14	280	1,27	5	7	0,6	0,65	1,17	21	24,57	32,32
29	8	14	448	1,23	8	7	0,5	0,65	1,17	28	32,76	43,10

Таблица 2 – Расчет нагрузок сантехнического и насосного оборудования МКД

МКД	Количество			Р _{кв.уд.} , кВт/кв	P _н , кВт	k _с	cosφ	tgφ	P _л , кВт	Q _л , квар	S _л , кВА
	Подъездов	Этажей	Квартир								
12	3	16	192	1,36	3,84	1,00	0,8	0,75	3,84	2,88	4,80
13	3	16	192	1,36	3,84	1,00	0,8	0,75	3,84	2,88	4,80
17	3	16	192	1,36	3,84	1,00	0,8	0,75	3,84	2,88	4,80
23	3	16	192	1,36	3,84	1,00	0,8	0,75	3,84	2,88	4,80
2	6	12	288	1,27	5,76	1,00	0,8	0,75	5,76	4,32	7,20
5	6	12	288	1,27	5,76	1,00	0,8	0,75	5,76	4,32	7,20
32	4	12	192	1,36	3,84	1,00	0,8	0,75	3,84	2,88	4,80
8	6	12	288	1,27	5,76	1,00	0,8	0,75	5,76	4,32	7,20
16	5	12	240	1,27	4,8	1,00	0,8	0,75	4,8	3,60	6,00
19	6	12	288	1,27	5,76	1,00	0,8	0,75	5,76	4,32	7,20
25	4	12	192	1,36	3,84	1,00	0,8	0,75	3,84	2,88	4,80
27	6	12	288	1,27	5,76	1,00	0,8	0,75	5,76	4,32	7,20
7	5	14	280	1,27	5,6	1,00	0,8	0,75	5,6	4,20	7,00
29	8	14	448	1,23	8,96	1,00	0,8	0,75	8,96	6,72	11,20

Таблица 3 – Расчет нагрузок вентиляционного оборудования МКД микрорайона

МКД	Количество			Р _{кв.уд} , кВт/кв	P _н , кВт	k _с	cosφ	tgφ	P _л , кВт	Q _л , квар	S _л , кВА
	Подъездов	Этажей	Квартир								
12	3	16	192	1,36	2,88	1,00	0,8	0,75	2,88	2,16	3,60
13	3	16	192	1,36	2,88	1,00	0,8	0,75	2,88	2,16	3,60
17	3	16	192	1,36	2,88	1,00	0,8	0,75	2,88	2,16	3,60
23	3	16	192	1,36	2,88	1,00	0,8	0,75	2,88	2,16	3,60
2	6	12	288	1,27	4,32	1,00	0,8	0,75	4,32	3,24	5,40
5	6	12	288	1,27	4,32	1,00	0,8	0,75	4,32	3,24	5,40
32	4	12	192	1,36	2,88	1,00	0,8	0,75	2,88	2,16	3,60
8	6	12	288	1,27	4,32	1,00	0,8	0,75	4,32	3,24	5,40
16	5	12	240	1,27	3,6	1,00	0,8	0,75	3,6	2,70	4,50
19	6	12	288	1,27	4,32	1,00	0,8	0,75	4,32	3,24	5,40
25	4	12	192	1,36	2,88	1,00	0,8	0,75	2,88	2,16	3,60
27	6	12	288	1,27	4,32	1,00	0,8	0,75	4,32	3,24	5,40
7	5	14	280	1,27	4,2	1,00	0,8	0,75	4,2	3,15	5,25
29	8	14	448	1,23	6,72	1,00	0,8	0,75	6,72	5,04	8,40

Таблица 4 – Расчет суммарных нагрузок МКД с учетом нагрузок силового электрооборудования

МКД	Количество			Р _{кв.уд} , кВт/кв	cosφ	tgφ	P _{кв} , кВт	Q _{кв} , квар	S _{кв} , кВА	S _л , кВА	S _{со} , кВА	S _{во} , кВА	S _{Σ.жд} , кВА
	Подъездов	Этажей	Квартир										
12	3	16	192	1,36	0,98	0,2	261,12	52,61	266,37	3,60	4,80	3,60	299,01
13	3	16	192	1,36	0,98	0,2	261,12	52,61	266,37	3,60	4,80	3,60	299,01
17	3	16	192	1,36	0,98	0,2	261,12	52,61	266,37	3,60	4,80	3,60	299,01
23	3	16	192	1,36	0,98	0,2	261,12	52,61	266,37	3,60	4,80	3,60	299,01
2	6	12	288	1,27	0,98	0,2	365,76	74,27	373,22	5,40	7,20	5,40	419,07
5	6	12	288	1,27	0,98	0,2	365,76	74,27	373,22	5,40	7,20	5,40	419,07
32	4	12	192	1,36	0,98	0,2	261,12	53,02	266,45	3,60	4,80	3,60	302,55
8	6	12	288	1,27	0,98	0,2	365,76	74,27	373,22	5,40	7,20	5,40	419,07
16	5	12	240	1,27	0,98	0,2	304,8	61,89	311,02	4,50	6,00	4,50	356,15
19	6	12	288	1,27	0,98	0,2	365,76	74,27	373,22	5,40	7,20	5,40	419,07
25	4	12	192	1,36	0,98	0,2	261,12	53,02	266,45	3,60	4,80	3,60	302,55
27	6	12	288	1,27	0,98	0,2	365,76	74,27	373,22	5,40	7,20	5,40	419,07
7	5	14	280	1,27	0,98	0,2	355,6	72,21	362,86	5,25	7,00	5,25	407,43
29	8	14	448	1,23	0,98	0,2	551,04	111,9	562,29	8,40	11,20	8,40	624,98
													5285,05

Таблица 5 – Расчет нагрузок общественных и административных зданий

Наименование учреждения	Производительность здания, М	Ед. изм.	Р _{уд} , кВт/ед.изм.	cosφ	tgφ	Р _р , кВт	ky	Р _{р.м} , кВт	Q _{р.м} , квар	Sp.м, кВт
Аптека	30	кВт	–	0,9	0,48	30	0,9	27	12,96	29,95
Магазин	1720	м ²	0,15	0,92	0,43	258	0,9	232,2	99,85	252,76
Банк	25	кВт	–	0,9	0,48	25	0,9	22,5	10,80	24,96
Поликлиника	900	чел	0,46	0,85	0,62	414	0,7	289,8	179,68	340,98
Детские сады	3x160		0,4	0,97	0,25	64	0,4	25,6	6,40	3x26,39
Кафе/ресторан	60	место	0,9	0,95	0,33	54	0,6	32,4	10,69	34,12
Образовательные учреждения	2x1000	чел	0,25	0,95	0,33	250	0,4	100	33,00	2x105,3
ТЦ «Победа»	1350x2	м ²	0,16	0,9	0,48	432	0,8	345,6	165,89	383,35
Физкультурно-оздоровительный комплекс (ФОК)	300	кВт	–	0,9	0,48	300	0,9	270	129,60	299,49
										1655,40

Для определения расчетной мощности общественных, административных зданий, а также промышленных предприятий, применим следующую формулу:

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

где $P_{уд}$ – удельная нагрузка здания (величина, которая берется из таблицы 2.2.1 в зависимости от назначения здания) [3];

S – производительность здания (исходные данные).

Далее определим максимальные нагрузки зданий по следующей формуле:

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

Коэффициент участия в максимуме нагрузки возьмем из таблицы 2.3.1 [3].

Результаты расчетов занесены в таблицу 5.

Выводы по разделу

В результате расчетов получаем, что полная нагрузка потребителей микрорайона без учета уличного освещения составляет 6940 кВА.

Далее необходимо произвести расчет освещения микрорайона для определения общей мощности и выбора соответствующего оборудования, необходимого для электроснабжения микрорайона.

2 Расчет освещения

Главные улицы, площади общественных зданий должны быть освещены не менее чем на 10 лк. [1]

Общая площадь дворов, площадок, стоянок для транспорта внутри одного квартала микрорайона составляет 15 га.

Высота установки светильников для освещения дворов, стоянок, придомовых территорий примем 3 м.

Для установки примем светильник GALAD Победа LED-40-ШБ1/К50 (рисунок 1) с паспортными данными, указанными в таблице 6 [5].

Таблица 6 – Паспортные данные светильников уличного освещения микрорайона

Марка светильника	GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50	GALAD Победа LED-40-ШБ1/К50
Мощность	80 Вт	40 Вт
Световой поток	9170 лм	4950 лм
Цветовая температура	5000 К	5000 К
Тип кривой силы света (КСС)	Широкая боковая 1	Широкая боковая 1
Исполнение	УХЛ1	УХЛ1
Степень защиты	IP65	IP65

Высота установки светильников наружного освещения согласно ГОСТ 55706-2013 над проезжей частью дорог примем 6,5 м. Ширина проезжей части дорог составляет 10 м. Общая площадь дорог составляет 3,5 га на один квартал.

Для установки примем светильник GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50 (таблица 6) [9].

Для расчета числа светильников квартала воспользуемся следующей формулой:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{F \cdot n} \quad (7)$$

где N – количество светильников необходимых для освещения, шт;

E – освещенность, лк;

S – освещаемая площадь, м²;

z – показатель неравномерности освещения (для светодиодных светильников z=1,1);

k – коэффициент запаса (для светодиодных светильников k=1,2);

F – световой поток светильника, лм;

n – показатель отражения (для асфальта n=0,5).

В результате расчетов по формуле 6 получаем, что для освещения дворов, стоянок, придомовых территорий микрорайона требуется 800 светильников GALAD Победа LED-40-ШБ1/К50. Для освещения дорог требуется 100 светильников GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50. Расстановка светильников представлена на чертеже. [13]

Светильники GALAD Победа LED-40-ШБ1/К50 имеют общую нагрузку 32 кВт на квартал микрорайона, а GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50 8 кВт. Суммарная нагрузка на уличное освещение квартала составляет 40 кВт (полная мощность будет составлять приблизительно 42 кВА).

Выводы по разделу

Просуммировав нагрузки МКД, зданий культурно-бытового назначения, а также нагрузку уличного освещения, получаем 6982 кВА. По полученному значению проведем выбор трансформаторов.

3 Выбор числа и мощности трансформаторов

Электроснабжение проектируемых энергопринимающих устройств предусматривается от существующих спроектированных ранее внешних сетей.

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

Класс напряжения электросети, к которым будет осуществляться подключение – 10/0,4 кВ.

Таблица 7 – Категории надежности потребителей микрорайона

Наименование учреждения	Категории надежности
МКД	II-III (в зависимости от количества этажей)
Аптека	II
Магазин	II
Банк	II
Поликлиника	I
Детский сад	II
Кафе/ресторан	II
Образовательное учреждение	I
ТЦ «Победа»	II
Физкультурно-оздоровительный комплекс (ФОК)	II

Однотрансформаторные подстанции применяются для электроснабжения МКД при количестве этажей от 1 до 8 [3]. Но поскольку присутствуют здания с большим количеством этажей, а также другие потребители I и II категории надежности электроснабжения, примем для электроснабжения комплектные двухтрансформаторные подстанции.

Расчет мощности трансформаторов будем проводить по методу удельной плотности нагрузок.

Проведем расчет мощности на один трансформатор по следующему выражению:

$$\sigma = \frac{S}{F_{\text{мкр}}} \quad (8)$$

где S – полная расчетная мощность потребителей, кВА;

$F_{\text{мкр}}$ – площадь территории квартала микрорайона, км² (18,5 га = 0,185 км²);

Отсюда получаем:

$$\sigma = \frac{S}{F_{\text{мкр}}} = \frac{6982}{0,185} = 37,74 \text{ МВА/км}^2$$

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

Коэффициент загрузки принимаем равным 0,7. Количество КТП определим по следующей формуле:

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

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

k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов.

В результате мы получаем, что с трансформаторами ТМГ 630 требуется 8 КТП, с ТМГ 1000 – 5 КТП, а для ТМГ 1250 – 4 КТП. Вариант с ТМГ 630 является экономически невыгодным по причине того, что число трансформаторов ТМГ 630 в 2 раза больше, чем ТМГ 1250, при том, что ТМГ 630 имеют больше потери, чем ТМГ 1250. В соответствии с этим рассмотрим варианты с ТМГ 1000 (5 КТП) и с ТМГ 1250 (4 КТП).

Для выбора экономически целесообразного расположения КТП, необходимо определить центры электрических нагрузок (ЦЭН) микрорайона.

Расчет ЦЭН потребителей проведем с учетом того, что точкой отсчета будет нижний левый угол квартала микрорайона, а расстоянием до объекта будет являться расстояние от точка отсчета до геометрического центра объекта (потребителя).

ЦЭН электрических нагрузок микрорайона для двух вариантов рассчитаем путем определения координат по следующим формулам [12]:

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

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя.

Результаты расчетов по формуле 9 занесем в таблицу 8 для трансформатора ТМГ 1000, а в таблицу 9 для трансформатора ТМГ 1250.

Таблица 8 – Расчет ЦЭН для КТП с трансформаторами ТМГ 1000

Наименование	S	X	Y	k_3	$x_{Ц}$	$y_{Ц}$
КТП1	1336,12			0,67	337,67	132,66
МКД 12	299,01	445	186			
МКД 8	419,07	335	39			
МКД 7	407,43	239	169			
Образовательное учреждение	105,30	430	107			
Образовательное учреждение	105,30	333	239			
КТП2	1371,64			0,69	438,16	359,20
МКД 13	299,01	445	253			
МКД 16	356,15	413	382			
МКД 17	299,01	448	466			
Кафе/ресторан	34,12	399	309			
ТЦ «Победа»	383,35	452	342			
КТП3	1388,00			0,69	294,52	451,11
МКД 19	419,07	360	465			
МКД 23	299,01	263	448			
МКД 25	302,55	231	378			
Детский сад	26,39	295	343			
Поликлиника	340,98	298	510			
КТП4	1193,47			0,60	88,77	119,76
МКД 5	419,07	168	28			
МКД 2	419,07	35	98			
МКД 32	302,55	37	269			
Детский сад	26,39	250	101			
Детский сад	26,39	117	230			
КТП5	1343,55			0,67	131,52	400,11
МКД 27	419,07	182	453			
МКД 29	624,98	142	323			
ФОК	299,49	39	487			

Таблица 9 – Расчет ЦЭН для КТП с трансформаторами ТМГ 1250

Наименование	S	X	Y	k_3	$x_{ц}$	$у_{ц}$
КТП1	1637,43			0,65	407,90	197,99
МКД 12	299,01	445	186			
МКД 13	299,01	445	253			
МКД 8	419,07	335	39			
Детский сад	26,39	295	343			
Образовательное учреждение	105,30	430	107			
Образовательное учреждение	105,30	333	239			
ТЦ «Победа»	383,35	452	342			
КТП2	1774,72			0,71	356,99	449,48
МКД 17	299,01	448	466			
МКД 23	299,01	263	448			
МКД 16	356,15	413	382			
МКД 19	419,07	360	465			
Поликлиника	340,98	298	510			
Детский сад	26,39	295	343			
Кафе/ресторан	34,12	399	309			
КТП3	1574,51			0,63	124,95	253,38
МКД 5	419,07	168	28			
МКД 7	407,43	239	169			
МКД 2	419,07	35	98			
МКД 32	302,55	37	269			
Детский сад	26,39	117	230			
КТП4	1646,10			0,66	149,80	396,04
МКД 27	419,07	182	453			
МКД 29	624,98	142	323			
МКД 25	302,55	231	378			
ФОК	299,49	39	487			

На основании полученных расчетов получаем следующее размещение КТП для трансформаторов ТМГ 1000 (рисунок 3) и для трансформаторов ТМГ 1250 (рисунок 4).

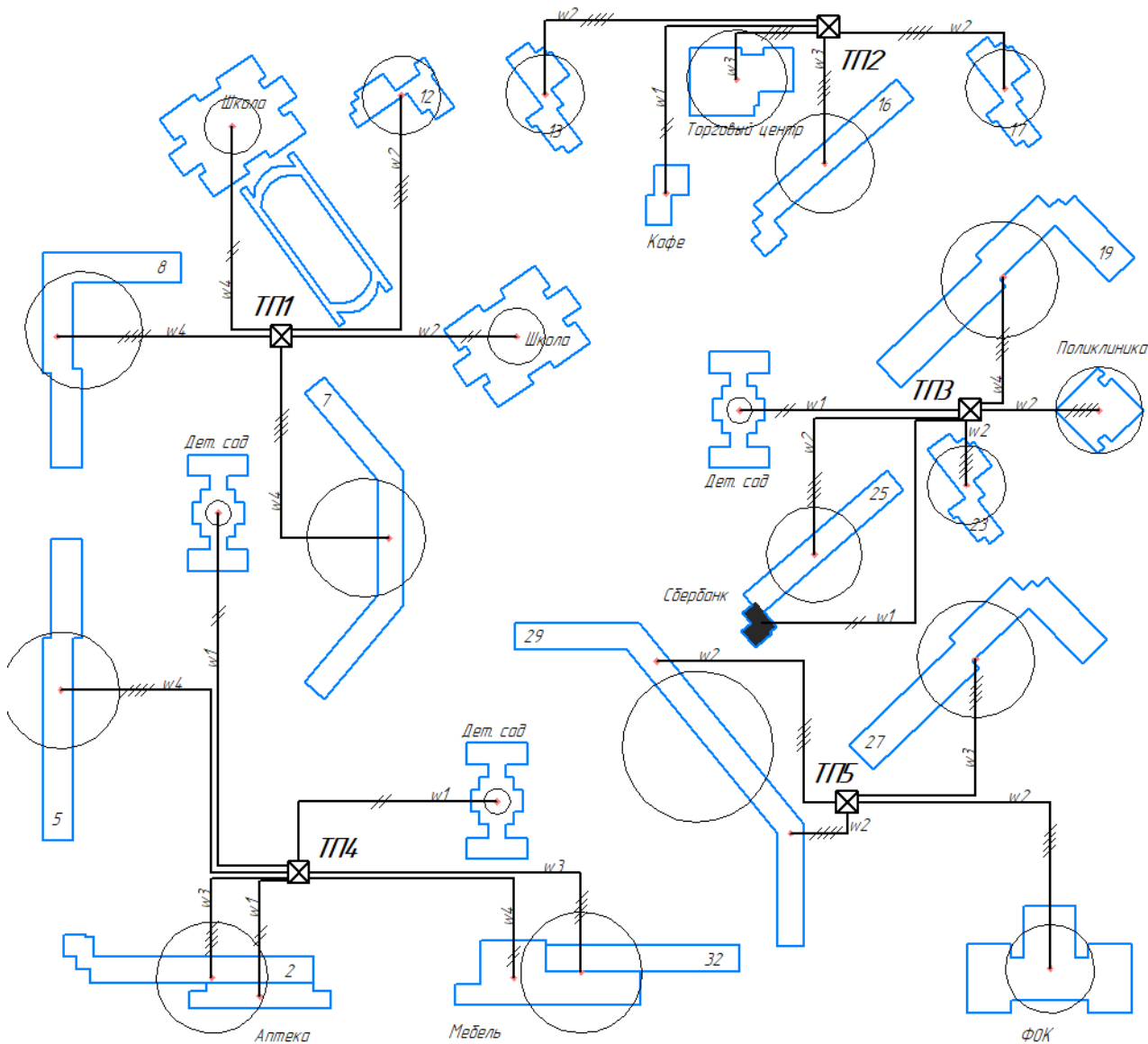


Рисунок 3 – План размещения КТП с трансформаторами ТМГ 1000

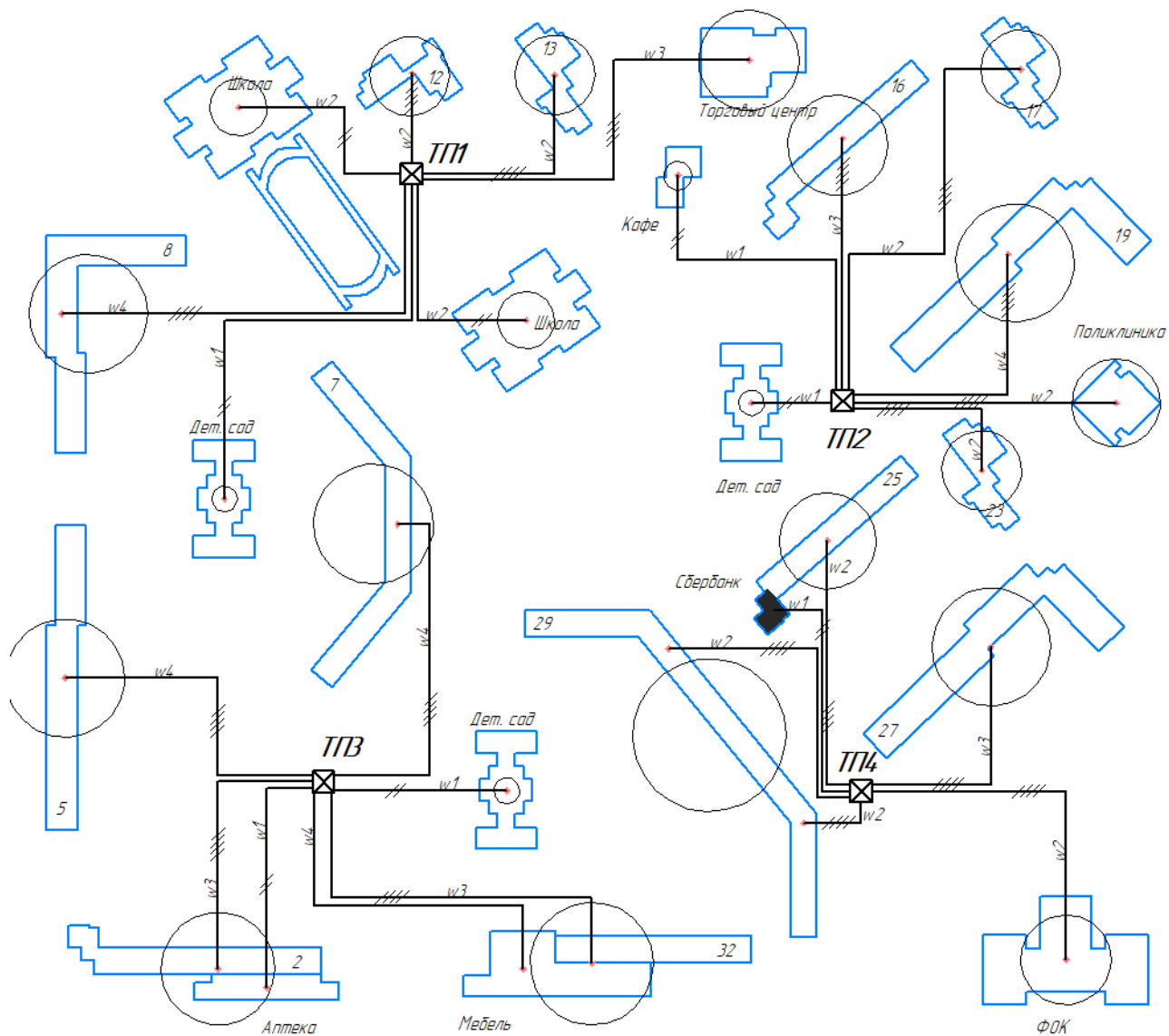


Рисунок 4 – План размещения КТП с трансформаторами ТМГ 1250

Выводы по разделу

В данном разделе был проведен расчет ЦЭН микрорайона для двух различных вариантов трансформаторов. Далее необходимо провести технико-экономический расчет двух вариантов для выбора наиболее оптимального варианта.

4 Технико-экономическое сравнение вариантов

Согласно данным таблицы 7, микрорайон состоит из потребителей II категории надежности электроснабжения. Применим радиальные и магистральные двухлучевые схемы распределительных сетей.

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]

Кабельные трассы в кварталах прокладываются на основании расположения строений микрорайона.

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

Расчет токов, возникающих в нормальном и аварийном режимах:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n} \quad (11)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя. Принимаем по 4 кабеля марки АПвБбШп.

Рассчитаем сечение кабельных линий:

$$F = \frac{I}{j_{\text{эк}}} \quad (12)$$

«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.» [10]

Для выбранной марки кабеля $j_{\text{эк}} = 1,6$ А/мм², поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5000 часов.

Для расчета длительного допустимого тока применим следующую формулу:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{т}} \cdot k_{\text{ж}} \quad (13)$$

где « $I_{\text{доп.справ}}$ – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле» [10];

« $k_{\text{п}}$ – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее» [10]. Поскольку кабелей 4 для каждого потребителя, то принимаем $k_{\text{п}} = 0,9$;

« $k_{\text{т}}$ – коэффициент поправки на температуру среды» [10]. Принимаем равным $k_{\text{т}} = 1,06$;

« $k_{\text{ж}}$ – коэффициент поправки на количество жил» [10]. Для четырехжильного кабеля принимаем $k_{\text{ж}} = 0,92$.

Для послеаварийного режима длительный допустимый ток считается аналогично. За аварийный режим принят режим, при котором два кабеля перестают работать. Коэффициент прокладки принимает значение 0,8.

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

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) l}{U_{\text{ном}}} \quad (14)$$

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.» [12]

Результаты расчетов потерь занесем в таблицу 12 для варианта 1 и в таблицу 13 для варианта 2.

Таблица 10 – Вариант 1

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I _{раб} , А	I _{пав} , А	F _{расч} , мм ²	F, мм ²	I _{доп.справ} , А	I _{доп.раб} , А	I _{доп.пав} , А
КТП1										
МКД 12	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 8	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 7	386,40	104,13	407,43	147,02	294,04	91,89	120	295	230,15	258,92
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	38,00	76,00	23,75	25	115	89,72	100,93
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	38,00	76,00	23,75	25	115	89,72	100,93
КТП2										
МКД 13	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 16	335,70	94,52	356,15	128,51	257,03	80,32	95	255	198,94	223,81
МКД 17	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
Кафе/ресторан	32,40	10,69	34,12	12,31	24,62	7,69	10	70	54,61	61,44
ТЦ «Победа»	345,60	165,89	383,35	138,33	276,66	86,46	120	295	230,15	258,92
КТП3										
МКД 19	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 23	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 25	285,84	79,12	302,55	109,17	218,35	68,23	95	255	198,94	223,81
Банк	22,50	10,80	24,96	9,01	18,01	5,63	10	70	54,61	61,44
Детский сад	25,60	6,40	26,39	9,52	19,04	5,95	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 10

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I _{раб} , А	I _{пав} , А	F _{расч} , мм ²	F, мм ²	I _{доп.справ} , А	I _{доп.раб} , А	I _{доп.пав} , А
Поликлиника	289,80	179,68	340,98	123,04	246,08	76,90	95	255	198,94	223,81
КТП4										
МКД 5	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 2	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 32	285,84	79,12	302,55	109,17	218,35	68,23	95	255	198,94	223,81
Детский сад	25,60	6,40	26,39	9,52	19,04	5,95	10	70	54,61	61,44
Детский сад	25,60	6,40	26,39	9,52	19,04	5,95	10	70	54,61	61,44
Аптека	27,00	12,96	29,95	10,81	21,61	6,75	10	70	54,61	61,44
Магазин	232,20	99,85	252,76	91,21	182,41	57,00	70	210	163,83	184,31
КТП5										
МКД 27	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 29 (1-4 подъезды)	297,36	78,21	312,49	112,76	225,52	70,48	95	255	198,94	223,81
МКД 29 (5-8 подъезды)	297,36	78,21	312,49	112,76	225,52	70,48	95	255	198,94	223,81
Физкультурно- оздоровительный комплекс	270,00	129,60	299,49	108,07	216,14	67,54	95	255	198,94	223,81

Таблица 11 – Вариант 2

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I _{раб} , А	I _{пав} , А	F _{расч} , мм ²	F, мм ²	I _{доп.справ} , А	I _{доп.раб} , А	I _{доп.пав} , А
КТП1										
МКД 12	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 13	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 8	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
Детский сад	25,60	6,40	26,39	9,52	19,04	5,95	10	70	54,61	61,44
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	38,00	76,00	23,75	25	115	89,72	100,93
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	38,00	76,00	23,75	25	115	89,72	100,93
ТЦ «Победа»	345,60	165,89	383,35	138,33	276,66	86,46	120	295	230,15	258,92
КТП2										
МКД 17	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 23	283,59	76,08	299,01	107,90	215,79	67,43	95	255	198,94	223,81
МКД 16	335,70	94,52	356,15	128,51	257,03	80,32	95	255	198,94	223,81
МКД 19	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
Поликлиника	289,80	179,68	340,98	123,04	246,08	76,90	95	255	198,94	223,81
Детский сад	25,60	6,40	26,39	9,52	19,04	5,95	10	70	54,61	61,44
Кафе	32,40	10,69	34,12	12,31	24,62	7,69	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 11

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I _{раб} , А	I _{пав} , А	F _{расч} , мм ²	F, мм ²	I _{доп.справ} , А	I _{доп.раб} , А	I _{доп.пав} , А
КТПЗ										
МКД 5	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 7	386,40	104,13	407,43	147,02	294,04	91,89	120	295	230,15	258,92
МКД 2	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 32	285,84	79,12	302,55	109,17	218,35	68,23	95	255	198,94	223,81
Детский сад	25,60	6,40	26,39	9,52	19,04	5,95	10	70	54,61	61,44
Аптека	27,00	12,96	29,95	10,81	21,61	6,75	10	70	54,61	61,44
Магазин	99,85	252,76	252,76	91,21	182,41	57,00	70	210	163,83	184,31
КТП4										
МКД 27	397,44	107,10	419,07	151,22	302,44	94,51	120	295	230,15	258,92
МКД 29 (1-4)	297,36	78,21	312,49	112,76	225,52	70,48	95	255	198,94	223,81
МКД 29 (1-5)	297,36	78,21	312,49	112,76	225,52	70,48	95	255	198,94	223,81
МКД 25	285,84	79,12	302,55	109,17	218,35	68,23	95	255	198,94	223,81
Физкультурно-оздоровительный комплекс	270,00	129,60	299,49	108,07	216,14	67,54	95	255	198,94	223,81
Банк	22,50	10,80	22,50	8,12	16,24	5,07	10	70	54,61	61,44

Таблица 12 – Вариант 1

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	F, мм ²	r, Ом/км	x, Ом/км	L, км	dU _{раб} , %	dU _{пав} , %
КТП1									
МКД №12	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,17	1,06%	2,11%
МКД №8	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,11	0,77%	1,54%
МКД №7	386,40	104,13	407,43	120	0,329	0,081	0,15	1,27%	2,54%
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	25	1,28	0,085	0,12	0,98%	1,96%
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	25	1,28	0,085	0,12	0,98%	1,96%
КТП2									
МКД №13	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,17	1,06%	2,11%
МКД №16	335,70	94,52	356,15	95	0,329	0,081	0,11	0,81%	1,62%
МКД №17	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,07	0,44%	0,87%
Кафе	32,40	10,69	34,12	10	3,16	0,099	0,16	1,03%	2,07%
Торговый центр	345,60	165,89	383,35	120	0,261	0,08	0,07	0,45%	0,91%
КТП3									
МКД №19	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,04	0,28%	0,56%
МКД №23	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,08	0,50%	0,99%
МКД №25	285,84	79,12	302,55	95	0,329	0,081	0,014	0,09%	0,18%
Банк	22,50	10,80	24,96	10	3,16	0,099	0,18	0,81%	1,62%
Детский сад	25,60	6,40	26,39	10	3,16	0,099	0,06	0,31%	0,61%

Продолжение таблицы 12

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	F, мм ²	r, Ом/км	x, Ом/км	L, км	dU _{раб} , %	dU _{пав} , %
Поликлиника	289,80	179,68	340,98	95	0,329	0,081	0,11	0,76%	1,51%
КТП4									
МКД №5	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,2	1,40%	2,81%
МКД №2	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,09	0,63%	1,26%
МКД №32	285,84	79,12	302,55	95	0,329	0,081	0,18	1,13%	2,26%
Детский сад	25,60	6,40	26,39	10	3,16	0,099	0,07	0,36%	0,71%
Детский сад	25,60	6,40	26,39	10	3,16	0,099	0,14	0,71%	1,43%
Аптека	27,00	12,96	29,95	10	3,16	0,099	0,13	0,70%	1,41%
Магазин	232,20	99,85	252,76	70	0,447	0,082	0,18	1,26%	2,52%
КТП5									
МКД 27	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,13	0,91%	1,82%
МКД 29 (1-4 подъезды)	297,36	78,21	312,49	95	0,329	0,081	0,15	0,98%	1,95%
МКД 29 (5-8 подъезды)	297,36	78,21	312,49	95	0,329	0,081	0,04	0,26%	0,52%
Физкультурно- оздоровительный комплекс	270,00	129,60	299,49	95	0,329	0,081	0,018	0,11%	0,22%

Таблица 13 – Вариант 2

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	F, мм ²	r, Ом/км	x, Ом/км	L, км	dU _{раб} %	dU _{пав.} %
КТП1									
МКД 12	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,02	0,12%	0,25%
МКД 13	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,23	1,43%	2,86%
МКД 8	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,12	0,84%	1,68%
Детский сад	25,60	6,40	26,39	10	3,16	0,099	0,12	0,61%	1,22%
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	25	1,28	0,085	0,12	0,98%	1,96%
Образовательное учреждение	100,00	33,00	105,30	25	1,28	0,085	0,24	1,96%	3,92%
Торговый центр	345,60	165,89	383,35	120	0,261	0,08	0,22	1,42%	2,85%
КТП2									
МКД 17	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,1	0,62%	1,24%
МКД 23	283,59	76,08	299,01	95	0,329	0,081	0,24	1,49%	2,98%
МКД 16	335,70	94,52	356,15	95	0,329	0,081	0,13	0,96%	1,92%
МКД 19	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,15	1,05%	2,11%
Поликлиника	289,80	179,68	340,98	95	0,329	0,081	0,13	0,89%	1,79%
Детский сад	25,60	6,40	26,39	10	3,16	0,099	0,05	0,25%	0,51%
Кафе	32,40	10,69	34,12	10	3,16	0,099	0,18	1,16%	2,33%

Продолжение таблицы 13

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	F, мм ²	r, Ом/км	x, Ом/км	L, км	dU _{раб} , %	dU _{пав} , %
КТП3									
МКД 5	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,17	1,19%	2,39%
МКД 7	386,40	104,13	407,43	120	0,261	0,08	0,18	1,23%	2,46%
МКД 2	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,09	0,63%	1,26%
МКД 32	285,84	79,12	302,55	95	0,329	0,081	0,14	0,88%	1,76%
Детский сад	25,60	6,40	26,39	10	3,16	0,099	0,21	1,07%	2,14%
Аптека	27,00	12,96	29,95	10	3,16	0,099	0,11	0,60%	1,19%
Магазин	99,85	252,76	252,76	70	0,447	0,082	0,16	0,65%	1,31%
КТП4									
МКД 27	397,44	107,10	419,07	120	0,261	0,08	0,13	0,91%	1,82%
МКД 29 (1-4)	297,36	78,21	312,49	95	0,329	0,081	0,13	0,85%	1,69%
МКД 29 (1-5)	297,36	78,21	312,49	95	0,329	0,081	0,15	0,98%	1,95%
МКД 25	285,84	79,12	302,55	95	0,329	0,081	0,04	0,25%	0,50%
Физкультурно-оздоровительный комплекс	270,00	129,60	299,49	95	0,329	0,081	0,12	0,74%	1,49%
Банк	22,50	10,80	22,50	10	3,16	0,099	0,18	0,81%	1,62%

Проведем технико-экономический расчет вариантов для последующего выбора наиболее выгодного.

Технические характеристики данных трансформаторов занесем в таблицу 14.

Таблица 14 – Характеристики ТМГ-1000/10/0,4 и ТМГ-1250/10/0,4

Маркировка трансформатора	ТМГ-1000/10/0,4	ТМГ-1250/10/0,4
P_{xx} , кВт	1,55	1,8
$P_{кз}$, кВт	10,8	12,4
I_{xx} , %	1,2	0,5
$U_{кз}$, %	5,5	6,0
Количество, шт	10	8
Стоимость с НДС за трансформатор, тыс. руб	464	576

Время максимальных потерь:

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 \quad (15)$$

где « T_{max} – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч». [3] Принимаем 5400 ч.

Годовые потери электроэнергии в одном трансформаторе:

$$\Delta W_{год.тр} = \Delta P_{xx.тр} \cdot T_{тр} \cdot n_{тр} + \Delta P_{кз.тр} \cdot \left(\frac{S_p}{S_H}\right)^2 \cdot \tau_m \cdot \frac{1}{n_{тр}} \quad (16)$$

где $T_{тр}$ – время работы трансформатора за год, ч.

Издержки:

$$I_{\text{тр}} = \rho_{\text{тр}} \cdot K_{\text{тр}} + c_{\text{т}} \cdot \Delta W_{\text{год.тр}} \cdot 10^{-5} = \rho_{\text{тр}} \cdot K_{\text{тр}} + \left(\frac{\alpha_{\text{д}}}{T_{\text{max}}} + \beta_{\text{д}} \right) \cdot \Delta W_{\text{год.тр}} \cdot 10^{-5} \quad (17)$$

где $\rho_{\text{тр}}$ – коэффициент амортизации;

$c_{\text{т}}$ – стоимость потерь, тыс. руб/(кВт·ч);

$\alpha_{\text{д}}$ – основная ставка двухставочного тарифа за 1 кВт договорной мощности;

$\beta_{\text{д}}$ – дополнительная ставка двухставочного тарифа за кВт·ч активной энергии, учтенной расчетным счетчиком.

$K_{\text{тр}}$ – капиталовложения, тыс. руб.

Общие затраты:

$$З = p_{\text{н}} \cdot K_{\text{тр}} + I_{\text{тр}} \quad (18)$$

где $p_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент экономической эффективности.

Расчет затрат трансформатора ТМГ-1250/10/0,4 рассчитаем по аналогии с расчетом трансформатора ТМГ-1000/10/0,4. Техно-экономический расчет занесем в таблицу 15.

Таблица 15 – Техно-экономическое сравнение ТМГ-1000/10/0,4 и ТМГ-1250/10/0,4

Трансформатор	Ед.изм.	ТМГ-1000/10/0,4	ТМГ-1250/10/0,4
$\tau_{\text{м}}$	ч	3862,25	3862,25
$\Delta W_{\text{год.тр}}$	кВт·ч	37323	43209
$I_{\text{тр}}$	тыс. руб	36513,08	42275,18
$p_{\text{н}} \cdot K_{\text{тр}}$	тыс. руб	55,68	69,12
$З$	тыс. руб	36568,76	42344,30

Таблица 16 – Техничко-экономический расчет варианта 1

Наименование	F, мм ²	L, км	C _{прокл} , руб/м	K _{прокл} , руб	C _{каб} , руб/м	K _{каб} , руб	V _{земл} , м ³	K _{земл} , руб
КТП1								
МКД 12	95	0,17	310	52700	463	78710	136	156400
МКД 8	120	0,11	340	37400	529	58190	88	101200
МКД 7	120	0,15	340	51000	529	79350	120	138000
Образовательное учреждение	25	0,12	195	23400	175	21000	96	110400
Образовательное учреждение	25	0,12	195	23400	175	21000	96	110400
КТП2								
МКД 13	95	0,17	310	52700	463	78710	136	156400
МКД 16	95	0,11	310	34100	463	50930	88	101200
МКД 17	95	0,07	310	21700	463	32410	56	64400
Кафе/ресторан	10	0,16	160	25600	88	14080	128	147200
ТЦ «Победа»	120	0,07	340	23800	529	37030	56	64400
КТП3								
МКД 19	120	0,04	340	13600	529	21160	32	36800
МКД 23	95	0,08	310	24800	463	37040	64	73600
МКД 25	95	0,014	310	4340	463	6482	11,2	12880
Банк	10	0,18	160	28800	88	15840	144	165600
Детский сад	10	0,06	160	9600	88	5280	48	55200

Продолжение таблицы 16

Наименование	F, мм ²	L, км	C _{прокл} , руб/м	K _{прокл} , руб	C _{каб} , руб/м	K _{каб} , руб	V _{земл} , м ³	K _{земл} , руб
Поликлиника	95	0,11	310	34100	463	50930	88	101200
КТП4								
МКД 5	120	0,2	340	68000	529	105800	160	184000
МКД 2	120	0,09	340	30600	529	47610	72	82800
МКД 32	95	0,18	310	55800	463	83340	144	165600
Детский сад	10	0,07	160	11200	88	6160	56	64400
Детский сад	10	0,14	160	22400	88	12320	112	128800
Аптека	10	0,13	160	20800	88	11440	104	119600
Магазин	70	0,18	270	48600	330	59400	144	165600
КТП5								
МКД 27	120	0,13	340	44200	529	68770	104	119600
МКД 29 (1-4 подъезды)	95	0,15	310	46500	463	69450	120	138000
МКД 29 (5-8 подъезды)	95	0,04	310	12400	463	18520	32	36800
Физкультурно- оздоровительный комплекс	95	0,018	310	5580	463	8334	14,4	16560
				827120		1099286	2449,6	2817040

Таблица 17 – Технико-экономический расчет варианта 2

Наименование	F, мм ²	L, км	C _{прокл} , руб/м	K _{прокл} , руб	C _{каб} , руб/м	K _{каб} , руб	V _{земл} , м ³	K _{земл} , руб
КТП1								
МКД 12	95	0,02	310	6200	463	9260	16	18400
МКД 13	95	0,23	310	71300	463	106490	184	211600
МКД 8	120	0,12	340	40800	529	63480	96	110400
Детский сад	10	0,12	160	19200	88	10560	96	110400
Образовательное учреждение	25	0,12	195	23400	175	21000	96	110400
Образовательное учреждение	25	0,24	195	46800	175	42000	192	220800
ТЦ «Победа»	120	0,22	340	74800	529	116380	176	202400
КТП2								
МКД 17	95	0,1	310	31000	463	46300	80	92000
МКД 23	95	0,24	310	74400	463	111120	192	220800
МКД 16	95	0,13	310	40300	463	60190	104	119600
МКД 19	120	0,15	340	51000	529	79350	120	138000
Поликлиника	95	0,13	310	40300	463	60190	104	119600
Детский сад	10	0,05	160	8000	88	4400	40	46000
Кафе/ресторан	10	0,18	160	28800	88	15840	144	165600
КТП3								

Продолжение таблицы 17

Наименование	F, мм ²	L, км	C _{прокл} , руб/м	K _{прокл} , руб	C _{каб} , руб/м	K _{каб} , руб	V _{земл} , м ³	K _{земл} , руб
МКД 5	120	0,17	340	57800	529	89930	136	156400
МКД 7	120	0,18	340	61200	529	95220	144	165600
МКД 2	120	0,09	340	30600	529	47610	72	82800
МКД 32	95	0,14	310	43400	463	64820	112	128800
Детский сад	10	0,21	160	33600	88	18480	168	193200
Аптека	10	0,11	160	17600	88	9680	88	101200
Магазин	70	0,16	270	43200	330	52800	128	147200
КТП4								
МКД 27	120	0,13	340	44200	529	68770	104	119600
МКД 29 (1-4)	95	0,13	310	40300	463	60190	104	119600
МКД 29 (1-5)	95	0,15	310	46500	463	69450	120	138000
МКД 25	95	0,04	310	12400	463	18520	32	36800
Физкультурно-оздоровительный комплекс	95	0,12	310	37200	463	55560	96	110400
Банк	10	0,18	270	48600	88	15840	144	165600
				1072900		1413430	3088	3551200

Выбираем ТМГ-1000/10/0,4, поскольку является более выгодным. [21]

Рассчитаем затраты на прокладку кабельных линий для 1 и 2 вариантов. Примем, что глубина кабельной траншеи 1 м, а ширина траншеи 0,8 м для четырех кабелей. Объем земли необходимый для разработки грунта и проведения обратной засыпки после прокладки каждого кабеля представлен в таблице 16 для варианта 1 и в таблице 17 для варианта 2.

Стоимость одного погонного метра кабеля каждого сечения было взято из каталога [6].

Общая стоимость капиталовложений для прокладки кабельных линий рассчитывается по следующей формуле:

$$Z = K_{\text{прокл}} + K_{\text{каб}} + K_{\text{земл}} = (C_{\text{прокл}} + C_{\text{каб}})L + V_{\text{земл}}C_{\text{земл}} \quad (19)$$

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 [14]), руб/м³;

Выводы по разделу

В результате расчетов мы получили, что стоимость прокладки кабельных линий для варианта 1 составляет 4,743 млн. руб, а стоимость прокладки для варианта 2 составляет 6,037 млн. руб.

В результате расчетов, наиболее выгодным будет являться 1 вариант.

5 Расчет ТКЗ

5.1 Расчет ТКЗ выше 1 кВ

Рассчитаем ТКЗ по формулам приближенного приведения в относительных единицах (о.е.).

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

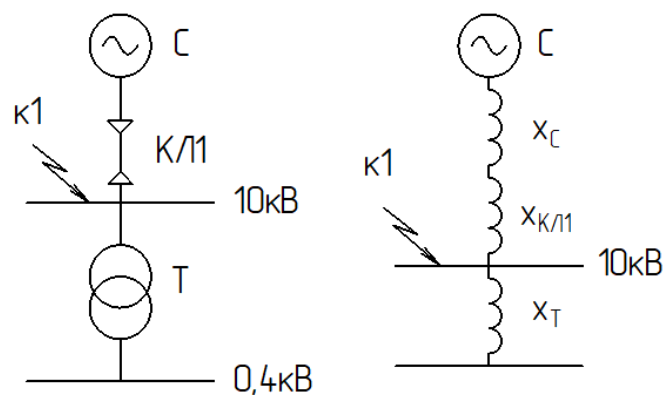


Рисунок 5 – Расчетная схема и схема замещения

Ток протикающий от системы до КТП:

$$I_{c-тр} = \frac{S_{Тр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (20)$$
$$I_{c-тр} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99 \text{ А}$$

Для электроснабжения спортивного комплекса установим кабельные линии (КЛ) с алюминиевыми жилами. Рассчитаем сечение по экономической плотности тока ($J_{эк} = 1,6$ А/мм²) [10]:

$$s = \frac{I}{J} \quad (21)$$
$$s = \frac{54,99}{1,6} = 34,37 \text{ мм}^2$$

Принимаем сечение 70 мм^2 . Для прокладки кабеля с умеренным и холодным климатом, в земле с низкой коррозионной активностью, при отсутствии блуждающих токов и механических напряжений применим кабель типа ААБл [4]. Допустимый длительный ток для трехжильного кабеля ААБл 4х70 по каталожным данным составляет 184 А. В случае работы лишь одного трансформатора номинальный ток равен 115,47 А, что является допустимым. [18]

Сопротивление $r_{уд}=0,443 \text{ Ом/км}$ согласно ГОСТ 28249-93, $x_{уд}=0,061 \text{ Ом/км}$, поскольку кабель является четырехжильным. Расстояние от КТП до точки подключения 4 км. [19]

Сопротивления кабельной линии (КЛ) рассчитаем по формулам:

$$r_{КЛ1} = r_{уд1} \cdot l_{КЛ1} \quad (22)$$

$$r_{КЛ1} = 0,443 \cdot 4 = 1,772 \text{ Ом}$$

$$x_{КЛ1} = x_{уд1} \cdot l_{КЛ1} \quad (23)$$

$$x_{КЛ1} = 0,061 \cdot 4 = 0,244 \text{ Ом}$$

Пересчитаем сопротивление ВН к ступени НН по следующим формулам:

$$r_{КЛ1} = r_{КЛ1} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2 \quad (24)$$

$$x_{КЛ1} = x_{КЛ1} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2 \quad (25)$$

Подставляя значения технических характеристик кабеля ААБл 4х70 в формулы 24 и 25 получаем: $r_{КЛ1}=2,57 \text{ мОм}$, $x_{КЛ1}=0,35 \text{ мОм}$.

Сопротивление КЛ в о.е.:

$$x_{бкл} = x_{КЛ1} \frac{S_6}{U_{ВН}^2} \quad (26)$$

$$x_{\text{бкл}} = 0,244 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,213 \text{ о.е.}$$

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{\text{б}\eta} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\eta}} \quad (27)$$

$$x_{\text{б}\eta} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ о.е.}$$

Общее сопротивление до точки К-1:

$$x_{\text{бсумм}} = x_{\text{б}\eta} + x_{\text{бкл}} \quad (28)$$

$$x_{\text{бсумм}} = 2 + 2,213 = 4,213 \text{ о.е.}$$

Базисный ток:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}} \cdot \sqrt{3}} \quad (29)$$

$$I_{\text{б}} = \frac{1000}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 55 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей ТКЗ:

$$I_{\text{п0}} = \frac{E_{\text{б}}}{x_{\text{бсумм}}} \cdot I_{\text{б}} \quad (30)$$

$$I_{\text{п0}} = \frac{1}{4,213} \cdot 55 = 13,055 \text{ кА}$$

Определим ударный ток.

$$i_{\text{удт}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot K_{\text{удт}} \quad (31)$$

$$i_{\text{удт}} = \sqrt{2} \cdot 13,055 \cdot 1,4 = 25,85 \text{ кА}$$

Получаем ударный ток $i_{удт}=25,85$ кА.

5.2 Расчет ТКЗ ниже 1 кВ

Покажем точки КЗ на рисунке 6. Расчет проведем с учетом активных и индуктивных сопротивлений элементов цепи. [16]

Рассчитаем номинальный ток, протекающий от КТП до потребителя:

$$I = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443,38 \text{ А}$$

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей $r_{кв}=0,19$ мОм, $x_{кв}=0,09$ мОм. Активным и индуктивным сопротивлением трансформаторов тока можно пренебречь. Активное сопротивление контактов $r_{к}=0,1$ мОм. Сопротивление автоматического выключателя $r_{ав}=0,19$ мОм, $x_{ав}=0,09$ мОм.» [10, 19]

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{нн}^2}{S_c} \quad (32)$$

$$x_c = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм}$$

Сопротивления силового трансформатора определим, используя его паспортные данные:

$$r_{Тр} = \frac{P_{кном} \cdot U_{ннном}^2}{S_{Тном}^2} \cdot 10^6 \quad (33)$$

$$x_{Тр} = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{кном}}{S_{Тном}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ннном}^2}{S_{Тном}} \cdot 10^4 \quad (34)$$

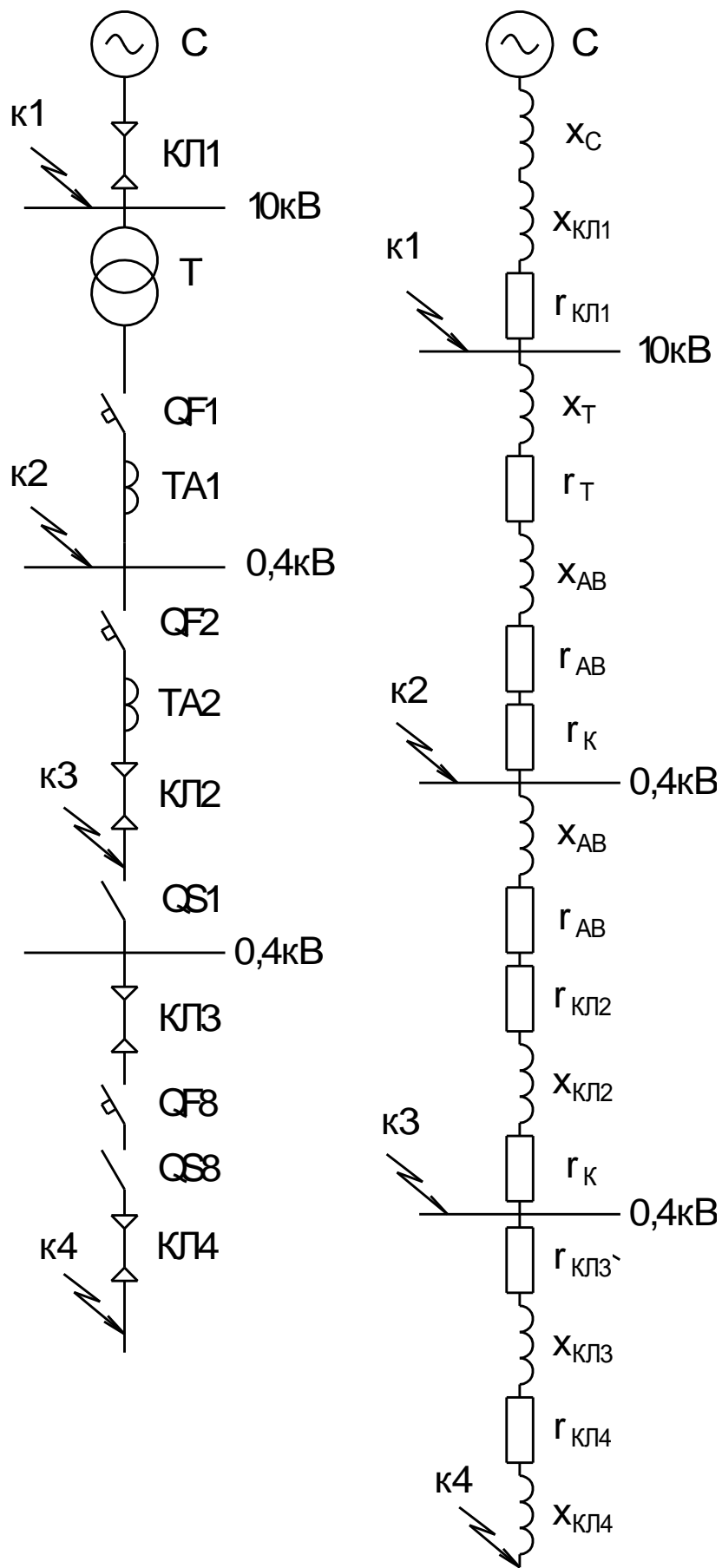


Рисунок 6 – Расчетная схема и схема замещения

Получаем:

$$r_{Tp} = \frac{10,8 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,73 \text{ мОм}$$

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

Рассчитаем общее сопротивление цепи на примере точки К2:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ1}} + r_{Tp} + r_{\text{к}} + r_{\text{ав}} + r_{\text{тт}} \quad (35)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ1}} + x_{Tp} + x_{\text{ав}} + x_{\text{тт}} + x_{\text{с}} \quad (36)$$

Подставляя вышеприведенные значения получаем: $r_{\text{сумм}} = 4,59 \text{ мОм}$,
 $x_{\text{сумм}} = 9,39 \text{ мОм}$

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

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм}}^2 + x_{\text{сумм}}^2)}} \quad (37)$$

$$I_{\text{п0}} = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (4,59^2 + 9,39^2)}} = 22,096 \text{ кА}$$

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

$$\varphi_{\text{с.ф}} = \arctg\left(\frac{x_{1\text{сумм}}}{r_{1\text{сумм}}}\right) \quad (38)$$

$$\varphi_{\text{с.ф}} = \arctg\left(\frac{9,39}{4,59}\right) = 1,116$$

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

$$t_{уд.т} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi_{с.ф}}{\pi} \quad (39)$$

$$t_{уд.т} = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 1,116}{3,14} = 8,552 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

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

$$T_{аТКЗ} = \frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma} \cdot \omega_c} \quad (40)$$

$$T_{аТКЗ} = \frac{9,39}{4,59 \cdot 314} = 6,515 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{удт} = (1 + \sin \varphi_{с.ф} \cdot e^{\frac{-t_{уд.т}}{T_{аТКЗ}}}) \quad (41)$$

$$K_{удт} = \left(1 + \sin(1,116) \cdot 2,71 \frac{-8,552 \cdot 10^{-3}}{6,515 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,242$$

Ударный ток:

$$i_{удт} = \sqrt{2} \cdot 22,096 \cdot 1,242 = 38,811 \text{ кА}$$

Точки К-3 и К-4 рассчитаем по аналогии. Результаты расчетов занесем в таблицу 18.

Таблица 18 – Результаты расчетов трехфазного КЗ

Точка КЗ	$U_{срном}$, кВ	r , МОм	x , МОм	$\varphi_{с.ф}$	$T_{а, 10^{-3}}$ с	$I_{п0}$, кА	$K_{удт}$	$i_{удт}$, кА
К1	10,5	-	-	-	-	13,055	1,4	25,850
К2	0,4	4,590	9,390	1,116	6,515	22,096	1,242	38,811
К3	0,4	49,020	39,075	0,662	2,481	3,666	1,035	5,545
К4	0,4	72,870	44,583	0,549	1,947	2,703	1,016	3,885

Далее по полученным расчетам проведем выбор оборудования КТП.

Выводы по разделу

В данном разделе были определены параметры ТКЗ для каждой из четырех точек трехфазного КЗ. Первая точка КЗ была задана на стороне выше 1 кВ. Вторая точка КЗ имеет самый высокий ударный ток, а также обладает наибольшим начальным действующим значением периодической составляющей ТКЗ, относительно точек КЗ на стороне ниже 1 кВ. По мере отдаления точек КЗ, ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ снижается, поскольку полное сопротивление цепи становится выше.

Также в ходе проведения расчетов ТКЗ были составлены расчетные схемы и схемы замещения.

Полученные результаты расчетов необходимы для выбора оборудования КТП.

6 Выбор оборудования трансформаторных подстанций

Для выбора оборудования КТП воспользуемся каталожными данными.

[8]

Выберем для электроснабжения микрорайона пять 2БКТП-1000/10/0,4-УХЛ1, состоящую из двух блоков (рисунок 7, 8). [21]

Для проверки автоматических выключателей, разъединителей и трансформаторов тока БКТП нужно рассчитать ряд параметров. [19, 20]

Определим ток термической стойкости для точки К-2:

$$B_K = (I_{п0})^2 (T_{аткз} + t_{п}) \quad (42)$$
$$B_K = 22,096^2 \cdot (6,515 + 30) \cdot 10^{-3} = 17,828 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Время действия релейной защиты:

$$\tau_{р.з} = t_{р.з} + t_{с.в} \quad (43)$$
$$\tau_{р.з} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где $t_{р.з}$ – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{с.в}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с.

Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ:

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot e^{\frac{-\tau_{р.з}}{T_a}} \quad (44)$$
$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 22,096 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{6,515}} = 31,001 \text{ кА}$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot I_{откл} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \tau_{р.з}}) \quad (45)$$
$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot 25 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 46,833 \text{ кА}$$

где $I_{откл}$ – номинальный ток отключения, кА.

Полученные расчеты занесем в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчетные и паспортные данные для оборудования

Расчетные данные	Сравниваемый параметр	Автоматический выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{max}=1443$ А	I_n	1600 А	1600 А	1600 А
$I_{п0}=22,096$ кА	$I_{откл}$	25 кА	–	–
$i_{αт}=31,001$ кА	$i_{а.н}$	37,466 кА	–	–
$i_{yδ}=38,811$ кА	$i_{прс}$	50 кА	50 кА	50 кА
$B_K=17,828$ кА ² ·с	B_K	20 кА ² ·с	20 кА ² ·с	20 кА ² ·с

Внешний вид БКТП представлен на рисунке 7, а компоновка оборудования на рисунке 8. [20]

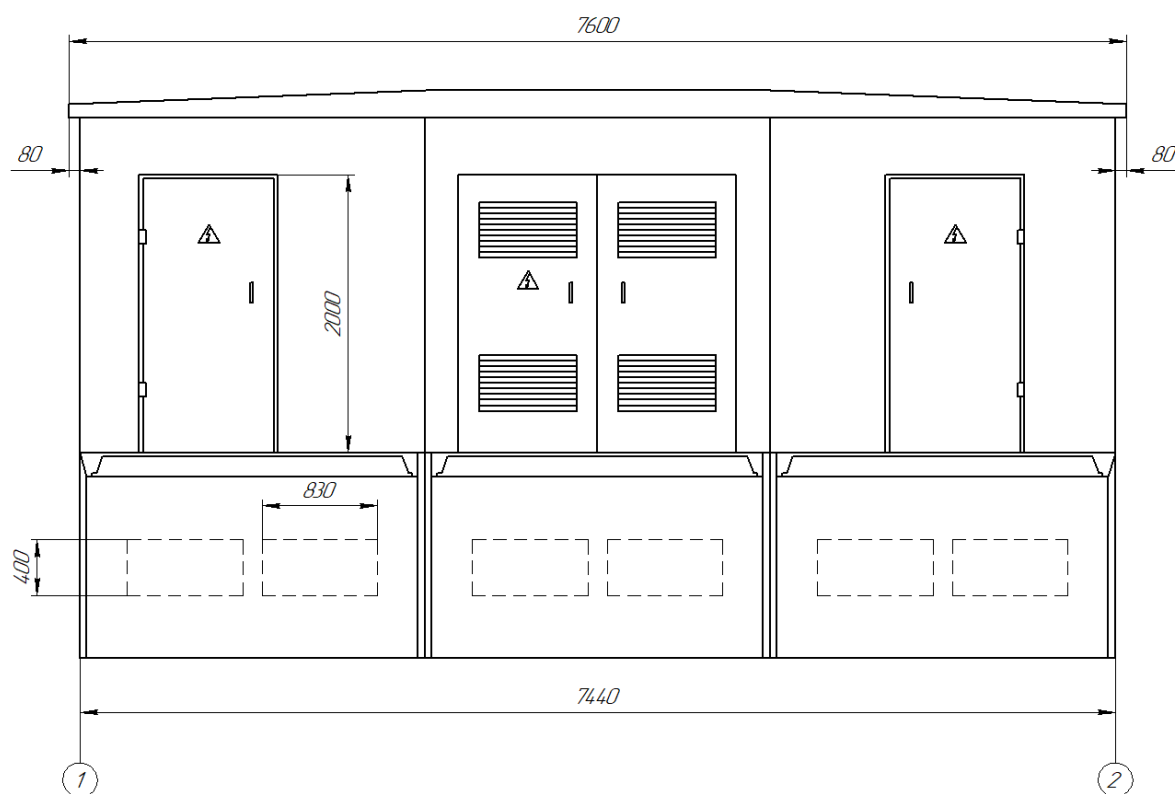


Рисунок 7 – Внешний вид 2БКТП-1000/10/0,4-УХЛ1

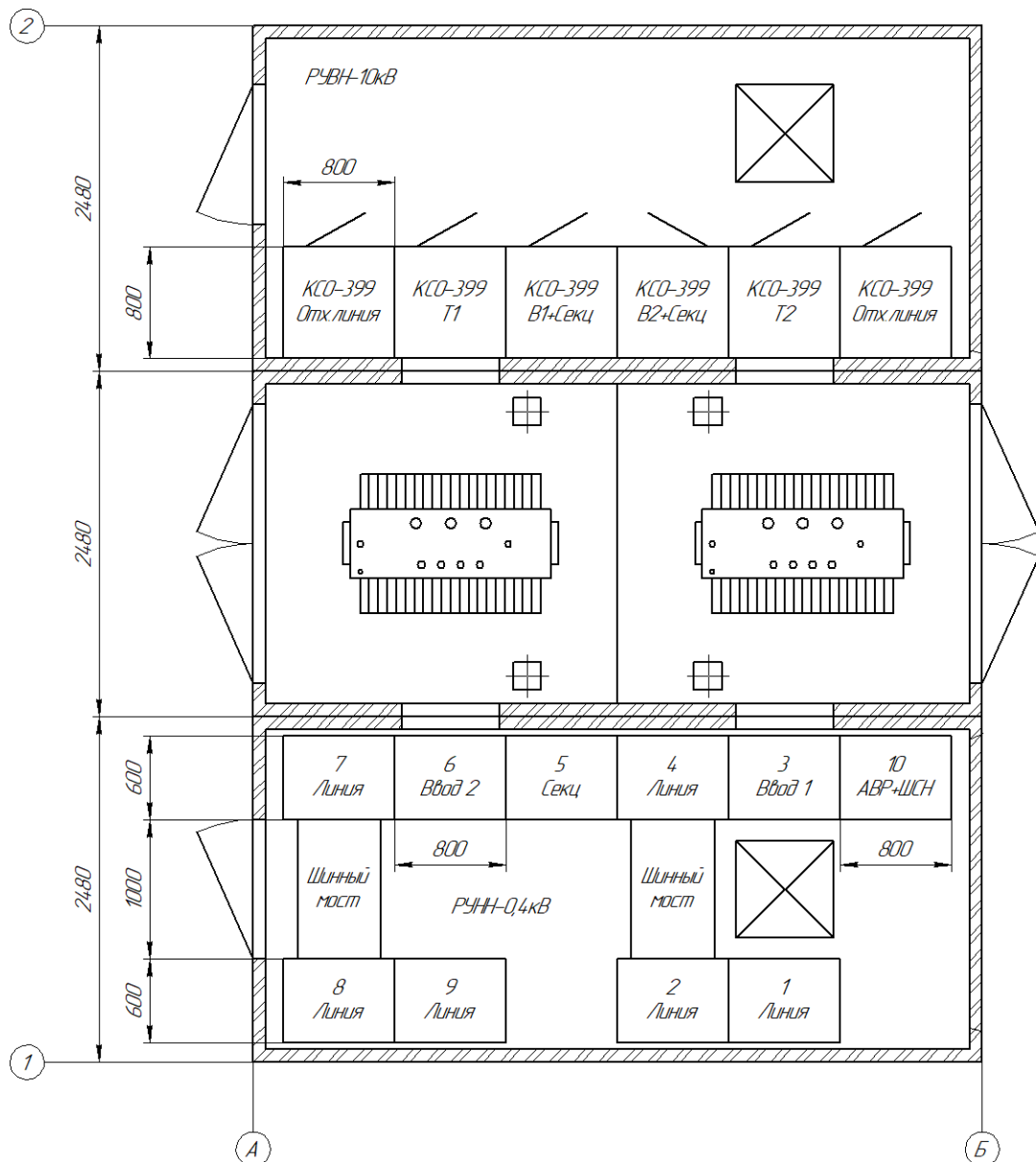


Рисунок 8 – Компонровка оборудования 2БКТП-1000/10/0,4-УХЛ1

Теперь необходимо провести расчет заземления БКТП.

Выводы по разделу

В данном разделе по результатам расчетов ТКЗ был проведен выбор оборудования КТП.

7 Расчет заземления трансформаторных подстанций

Контур заземления необходимо выполнить непосредственно у всех БКТП, поскольку разрешается не использовать повторное заземление, если потребитель подключен к шинам по кабельным линиям. [2]

«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.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части (рис. 1.7.7):

- 1) нулевой защитный РЕ- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- 2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;
- 3) заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- 4) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.» [10]

Проведем расчет заземляющего устройства (ЗУ).

Сопротивление вертикального заземлителя:

$$R_{\text{вз}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{вз}}} \left(\ln \frac{2 \cdot L_{\text{вз}}}{d_{\text{вз}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{\text{вз}} + L_{\text{вз}}}{4 \cdot T_{\text{вз}} - L_{\text{вз}}} \right) \quad (46)$$
$$R_{\text{вз}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,012} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 21,19 \text{ Ом}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{ГЗ} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{ГЗ}} \cdot \ln \frac{2L_{ГЗ}^2}{b_{ГЗ} \cdot h_{ГЗ}} \quad (47)$$
$$R_{\text{гор}} = \frac{100}{2\pi \cdot 5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5^2}{0,04 \cdot 0,5} = 24,9 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{\text{зу}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{\text{испз.и}} \cdot n_{\text{з.и}}}{R_{\text{з.и}}}} \quad (48)$$
$$R_{\text{зу}} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,69}{21,19} + \frac{1 \cdot 0,69}{24,9}} = 2,83 \text{ Ом}$$

В результате расчета получили, что сопротивление заземляющего устройства, состоящего из 10 вертикальных стержней, с расстоянием между ними 5 м, составляет 2,83 Ом. Сопротивление ЗУ не превышает 4 Ом. [10]

Тип системы заземления на вводе в здания – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S. Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. 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. [22]

Выводы по разделу

В ходе расчета заземляющего устройства, мы получили, что его сопротивление соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Заключение

В данной ВКР было проведено проектирование системы электроснабжения микрорайона.

Процесс проектирования был начат с проведения расчета электрических нагрузок микрорайона. Для этого были расчеты электрические нагрузки отдельных потребителей квартала микрорайона. Далее была рассчитана общая электрическая нагрузка потребителей.

В соответствии с полученными результатами и категориями надежности потребителей, было выбрано для сравнения 2 варианта электроснабжения потребителей микрорайона. Далее был проведен расчет мощности трансформаторов, количества КТП каждого варианта, определено их расположение на основании метода ЦЭН, выбраны кабели и произведен расчет потерь напряжения при электроснабжении потребителей. Потери напряжения являлись допустимыми для двух вариантов, но экономически выгодным являлся вариант с пятью 2БКТП-1000/10/0,4-УХЛ1.

Далее были рассчитаны ТКЗ. Результаты расчетов были использованы для проверки защитного оборудования, обеспечивающее надежность электроснабжения. Выбор оборудования проводился в пункте 6. Проводилась проверка автоматических выключателей трансформаторной подстанции, трансформаторов тока, разъединителей. На стороне низкого напряжения были выбраны автоматические выключатели, обеспечивающие надежность и безопасность электроснабжения потребителей микрорайона.

Затем проводился расчет заземления БКТП микрорайона. Проведенные расчеты приведены в пункте 7.

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: 28.02.2021).

2. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektrostanovkakh/> (дата обращения: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

5. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 02.01.2021).

6. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-kc.ru/price/cable-apvbbshp> (дата обращения: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

8. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

12. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-po-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

14. Стоимость проведения электромонтажных работ [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://04-110kv.ru/nashi-tseny> (дата обращения: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

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: 28.02.2021).

20. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.
21. Fofana I., Hadjadj Y. Electrical-Based Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers. Power Transformer Diagnostics, Monitoring and Design Features, 2016. 256 p.
22. Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.
23. Rexhepi V. An Analysis of Power Transformer Outages and Reliability Monitoring. Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, Boulevard "Sveti Kliement Ohridski" 8, Sofia, 1000, Bulgaria, 2017. 418 p.
24. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.