

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 Электроснабжение микрорайона № 8 г. Самара

Обучающийся

Д.В. Осокин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2024

Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлены результаты проектирования системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара.

Представлены результаты анализа нагрузок и составлена планкарта существующего микрорайона №8 в г. Самара, находящегося в границах улиц Пензенской, Тухачевского, Владимирской и Дачной, и относящегося к Железнодорожному району.

Выполнен расчет нагрузок микрорайона №8 г. Самара и определены места размещения трансформаторных подстанций. Также определены ближайшие к микрорайону центры питания – ПС 110/6 кВ «Центральная-3», ПС 110/35/6 кВ «Фарада». Все центры питания имеют низшее напряжение 6 кВ поэтому для электроснабжения микрорайона выбран этот класс напряжения.

Выполнен выбор трансформаторов распределительных подстанций микрорайона, а также кабельные линии 6 кВ. Выбранное оборудование проверено на условия работы в режиме максимальной нагрузки и в послеаварийном режиме, а также на стойкость токам короткого замыкания.

Пояснительная записка представлена на 62 листах формата А4, содержит 6 рисунков и 20 таблиц. Список используемых источников содержит 22 наименования. Графическая часть выпускной квалификационной работы отражена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика микрорайона №8 г. Самара	6
2 Определение электрических нагрузок микрорайона №8	10
3 Выбор распределительных трансформаторов системы электроснабжения микрорайона №8	22
4 Распределительная сеть микрорайона №8 г. Самара	33
5 Токи короткого замыкания и проверка оборудования	46
Заключение	56
Список используемой литературы	60

Введение

В городах проживает около 75% всего населения страны – это порядка 108,15 млрд. человек по данным на начало 2024 года [15]. Большая часть городов на территории России активно строилась и развивалась начиная с 1960 года. В 1950 году доля городских жителей составляла 40% от общего числа населения страны, а к 2000-му году доля городского населения возросла до 73%. При этом в 2000 году большая часть населения проживала в городах с населением более 500 тыс. человек.

По данным Федеральной службы государственной статистики по состоянию на 1 января 2023 года на территории РФ насчитывается 16 городов МИЛЛИОННИКОВ.

Распределение городов с населением свыше 1 млн. человек показано на рисунке 1.

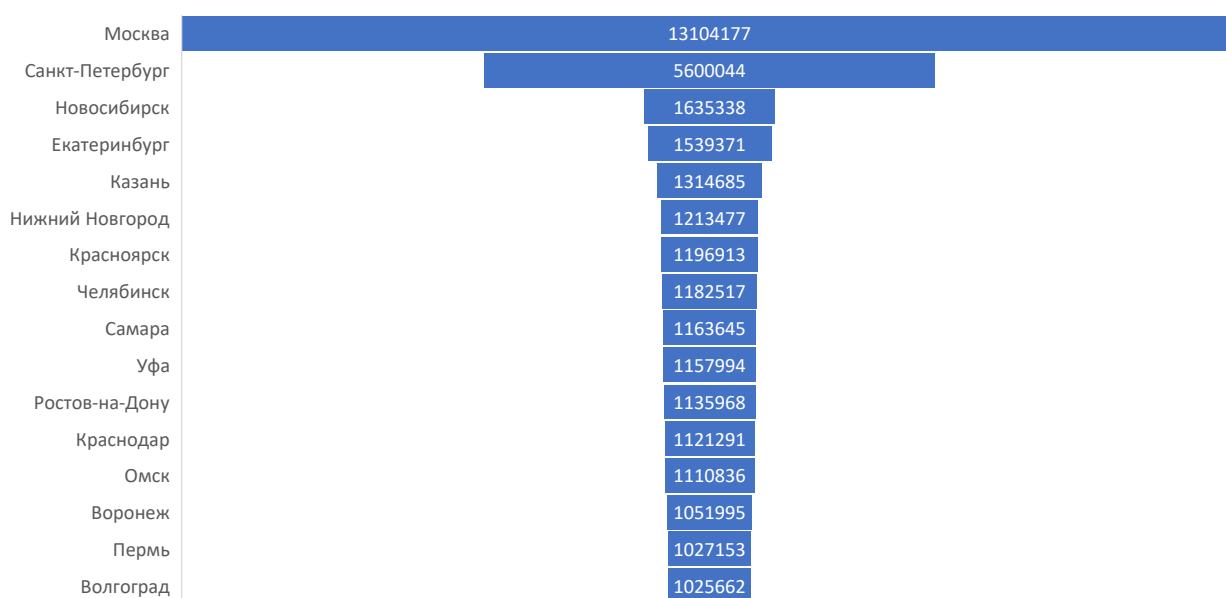


Рисунок 1 - Распределение населения по городам миллионникам

Согласно рисунку 1 г. Самара, в котором расположен объект выпускной квалификационной работы, является городом с числом жителей свыше 1 млн. человек.

Особенностью крупных городов является высокая сосредоточенность населения на небольших территориях, а также развитая инфраструктура: большое количество школ, магазинов, поликлиник, больниц, библиотек, парков, скверов, музеев и т.д.

Тема выпускной квалификационной работы, связанная с проектированием системы электроснабжения микрорайона города с населением свыше 1 млн. человек является актуальной.

Объект выпускной квалификационной работы – микрорайон №8 г. Самара, расположенный в Железнодорожном внутригородском районе городского округа Самара [2].

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы выполнен проект электроснабжения микрорайона №8 без учета существующей системы электроснабжения.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара.

Для достижения поставленной в рамках выполнения выпускной квалификационной работы цели необходимо выполнить и решить следующие задачи:

- определить расположение микрорайона №8 г. Самара и составить генеральный план микрорайона;
- определить объекты, расположенные на территории микрорайона №8 и их характеристики;
- выполнить расчет электрических нагрузок микрорайона №8 и определить точки оптимального расположения трансформаторных подстанций;
- выбрать оборудование системы электроснабжения микрорайона №8;
- выполнить расчет токов короткого замыкания для проектируемой системы электроснабжения микрорайона №8 и выполнить проверку оборудования.

1 Характеристика микрорайона №8 г. Самара

Объект выпускной квалификационной работы – микрорайон №8 г. Самара расположен в Железнодорожном внутригородском районе городского округа Самара [2].

Границы микрорайона №8 ул. Пензенской, ул. Тухачевского и ул. Дачной.

В таблице 1 представлены параметры многоквартирных домов микрорайона №8: количество этажей ($n_{\text{эт.}}$), количество подъездов ($n_{\text{под}}$), число электродвигателей (ЭД) санитарно-технических устройств ($n_{\text{с-т.у.}}$), число квартир ($n_{\text{кв}}$), мощность электродвигателей лифтовых установок ($n_{\text{лифт}}$). Данные таблицы 1 являются исходными данными для расчета электрических нагрузок объекта выпускной квалификационной работы. Номера объектов в таблице 1 соответствуют позициям на генеральном плане микрорайона №8 (рисунок 2).

Данные, представленные в таблице 1 позволили определить, что на территории микрорайона №8 находятся преимущественно стандартные жилые дома. Однако позиция 6 и позиция 13 являются домами повышенной комфортности.

Кроме жилых домов на территории микрорайона №8 расположен подземный гаражный комплекс (ГСК-154), общеобразовательная школа №64, детский сад №38 и первый корпус детского сада №377 «Эрудит».

К нежилым объектам на территории микрорайона №8 относятся административное здание по адресу улица Владимирская, 60 – «Территориальный фонд обязательного медицинского страхования Самарской области», торговый центр по адресу - Владимирская улица, 50А, на первом этаже которого расположен сетевой супермаркет «Пятерочка».

Параметры нежилых объектов микрорайона №8 представлены в таблице 2.

Таблица 1 - Объекты микрорайона №8 г. Самара

Номер	Адрес объекта	$n_{\text{под}}$, ШТ.	$n_{\text{лифт}}$, ШТ.	$n_{\text{эт.}}$, ШТ.	$n_{\text{кв}}$, ШТ.	$n_{\text{с-т.у.}}$, ШТ	Мощность лифтовых установок, кВт			
1	улица Дачная 41	3	3	9	108	11	3	-	-	-
2	улица Дачная 41/1	3	3	9	108	11	3	-	-	-
3	улица Дачная 43	2	4	12	96	10	3	5	-	-
4	улица Пензенская 61	2	2	9	72	7	3	-	-	-
5	улица Пензенская 63	6	6	9	216	22	3	-	-	-
6	улица Пензенская 65	1	4	9	36	4	3	5	3	5
7	улица Пензенская 67	2	2	9	72	7	3	-	-	-
8	улица Пензенская 69	2	2	9	72	7	3	-	-	-
9	улица Пензенская 71	4	4	9	144	14	3	-	-	-
11	улица Тухачевского 30	4	4	9	144	14	3	-	-	-
12	улица Тухачевского 40	2	4	12	96	10	3	5	-	-
13	улица Тухачевского 40А	4	8	25	400	40	4	6	-	-
14	улица Тухачевского 42	2	2	9	72	7	3	-	-	-
15	улица Тухачевского 44	2	2	9	72	7	3	-	-	-
16	улица Тухачевского 46	3	3	9	108	11	3	-	-	-
17	улица Тухачевского 48	2	2	9	72	7	3	-	-	-
18	улица Тухачевского 50	2	4	12	96	10	3	5	-	-
19	улица Тухачевского 50А	1	2	16	64	6	3	5	-	-
20	улица Тухачевского 52	2	2	9	72	7	3	-	-	-
21	улица Тухачевского 54	3	3	9	108	11	3	-	-	-
22	улица Тухачевского 56	2	2	9	72	7	3	-	-	-
23	улица Тухачевского 58	3	3	9	108	11	3	-	-	-
24	улица Владимирская 58	3	3	9	108	11	3	-	-	-
25	улица Владимирская 56	3	3	9	108	11	3	-	-	-
26	улица Владимирская 54	3	3	9	108	11	3	-	-	-
28	улица Владимирская 50	3	3	9	108	11	3	-	-	-
29	улица Владимирская 48	7	7	9	252	25	3	-	-	-
30	улица Пензенская 57	3	3	9	108	11	3	-	-	-

Продолжение таблицы 1

Номер	Адрес объекта	$n_{\text{под}}$, шт.	$n_{\text{лифт}}$, шт.	$n_{\text{эт.}}$, шт.	$n_{\text{кв}}$, шт.	$n_{\text{с-т.у.}}$, шт	Мощность лифтовых установок, кВт			
31	улица Пензенская 59	2	2	9	72	7	3	-	-	-



Рисунок 2 – Генеральный план микрорайона №8

Таблица 2 - Нежилые помещения микрорайона №8

Номер	Адрес объекта	Тип объекта	Число этажей, шт.	Площадь, м ²
33	Владимирская улица, 50А	Административное здание	5	4160
36	улица Тухачевского 56А	Кафе	2	700
38	Владимирская улица, 60	Торговый центр	2	1752

Параметры образовательных учреждений территории микрорайона №8 представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристики образовательных учреждений микрорайона

Номер	Адрес объекта	Тип объекта	Число учащихся, шт.
32	улица Пензенская 59А	Детский сад	300
35	Пензенская улица, 65А	Школа	1760
37	Пензенская улица, 69А	Детский сад	250

Общая площадь, занимаемая микрорайоном №8, составляет 250677 м².

Выводы по разделу.

Определено, что микрорайон №8 расположен в Железнодорожном внутригородском районе городского округа Самара. Границы микрорайона №8 определяются ул. Пензенской, ул. Тухачевского и ул. Дачной. В микрорайоне №8 расположено 29 жилых дома, преимущественно девятиэтажных панельных. Также на территории микрорайона расположены два детских сада и общеобразовательная школа. Данные получены из источника с открытым доступом [17].

Определен генеральный план микрорайона №8 с использованием специализированного программного обеспечения QGIS [1] и несортированных данных OSM [22], на котором отмечены все объекты входящие в микрорайон, а также магистральные автодороги и внутриквартальные проезды. Общая площадь микрорайона составляет 250677 м². Для всех объектов микрорайона №8 определены характеристики необходимые для расчета электрических нагрузок.

2 Определение электрических нагрузок микрорайона №8

Во втором разделе представлены результаты расчета электрических нагрузок микрорайона №8 г. Самара. Расчет электрических нагрузок выполнен на основе данных первого раздела выпускной квалификационной работы.

На территории микрорайона, согласно данным таблицы 3, расположены два детских сада и одна общеобразовательная школа.

Для определения электрических нагрузок образовательных учреждений используется выражение:

$$P_{\text{обр.уч}} = p_{\text{уд.обр.уч}} \cdot n_{\text{уч.}} \quad (1)$$

где $p_{\text{уд.обр.уч}}$ – удельная расчетная нагрузка на одно место обучающегося, кВт/шт.;

$n_{\text{уч.}}$ – количество обучающихся в образовательном учреждении, принимается по данным таблицы 3, шт.

Выполним расчет электрической нагрузки общеобразовательной школы №64 (позиция 35 рисунок 2) по выражению (1):

$$P_{\text{обр.уч}} = 0,22 \cdot 1760 = 387,2 \text{ (кВт)}$$

Расчет для других образовательных объектов микрорайона № 8 выполняется аналогично расчетам для общеобразовательной школы №64. Результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Результаты расчета нагрузок образовательных учреждений

Номер	Адрес	Тип объекта	$n_{\text{уч.}}$, шт.	$p_{\text{уд.обр.уч}}$, кВт/шт.	$P_{\text{обр.уч}}$, кВт
32	улица Пензенская 59А	Детский сад	300	0,22	66
35	Пензенская улица, 65А	Школа	1760	0,22	387,2
37	Пензенская улица, 69А	Детский сад	250	0,22	55
Итого, кВт					508,2

Электрическая нагрузка многоквартирных жилых домов определяется по выражению:

$$P_{\text{расч.кв}} = p_{\text{уд.кв}} \cdot n_{\text{кв.}} \quad (2)$$

где $p_{\text{уд.кв}}$ – удельная мощность одной квартиры, при укрупненном расчете принимается согласно [19], кВт.

$n_{\text{кв.}}$ – число квартир в жилом доме, шт.

Для жилого дома (позиция 1 рисунок 2) по выражению (2) и данным таблицы 1 получим:

$$P_{\text{расч.кв}} = 1,5 \cdot 108 = 162 \text{ (кВт)}$$

В жилых домах кроме потребителей жилых квартир присутствуют силовые электроприемники, к которым относятся лифтовые установки, электродвигатели санитарно-технических систем.

Для определения расчетной нагрузки лифтовых установок используется выражение:

$$P_{\text{расч.лифт}} = K_{\text{с.лифт}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{лифт.}i} \quad (3)$$

где $K_{\text{с.лифт}}$ – коэффициент спроса лифтовых установок жилого дома, определяется по [19] в зависимости от количества этажей;

n – число лифтовых установок в доме, для каждого жилого дома определено в таблице 1, шт.;

$P_{\text{лифт.}i}$ – номинальная мощность i -й лифтовой установки согласно таблице 1, кВт.

Для жилого дома (позиция 1 рисунок 2) по выражению (3) и данным таблицы 1 получим:

$$P_{\text{расч.лифт}} = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ (кВт)} \quad (4)$$

Мощность электродвигателей санитарно-технических устройств определяется по выражению:

$$P_{\text{расч.с-т.у}} = K_c \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ст-у.}i} \quad (5)$$

где K_c – коэффициент спроса для электродвигателей санитарно-технических устройств жилых многоквартирных домов;

n – число электродвигателей санитарно-технических устройств по данным таблицы 1, шт.;

$P_{\text{ст.у.}i}$ – мощность i -го электродвигателя санитарно-технической установки, кВт.

Для жилого дома (позиция 1 рисунок 2) по выражению (5) и данным таблицы 1 получим:

$$P_{\text{расч.с-т.у}} = K_c \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ст-у.}i} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{11} 1,5 = 8,25 \text{ (кВт)}$$

Расчетная активная нагрузка жилого дома с учетом электрических нагрузок квартир ($P_{\text{расч.кв}}$), лифтовых установок ($P_{\text{расч.лифт}}$) и расчетной нагрузки электродвигателей санитарно-технических устройств ($P_{\text{расч.с-т.у}}$) определяется по выражению:

$$P_{\text{расч.ЖД}} = P_{\text{расч.кв}} + 0,9 \cdot (P_{\text{расч.лифт}} + P_{\text{расч.с-т.у}}) \quad (6)$$

Для жилого дома (позиция 1 рисунок 2) по выражению (6) с учетом ранее определенных значений получим:

$$P_{\text{расч.ЖД}} = 162 + 0,9 \cdot (2,4 + 8,25) = 171,81 \text{ (кВт)}$$

Для всех остальных жилых домов микрорайона №8 расчеты выполняются аналогично. Результаты расчета электрических нагрузок сведем в таблицу 5.

Расчетные нагрузки общественных, административных и торговых объектов определяется по выражению:

$$P_{\text{расч.оз}} = p_{\text{уд.оз}} \cdot S_{\text{зд.}} \quad (7)$$

где $p_{\text{уд.оз}}$ – удельная нагрузка нежилых зданий, определяется согласно [19], кВт/м²;

$S_{\text{зд.}}$ – площадь здания для административных зданий и площадь торгового зала для зданий торговли, определяется данными таблицы 2, м².

Для административного здания (позиция 33 рисунок 1) по выражению (7) и данных таблицы 2 получим:

$$P_{\text{расч.оз}} = 0,054 \cdot 4160 = 224,64 \text{ (кВт)}$$

Для торгового центра (позиция 38 рисунок 1) по выражению (7) и данных таблицы 2 получим:

$$P_{\text{расч.оз}} = 0,16 \cdot 1752 = 280,3 \text{ (кВт)}$$

Таблица 5 – Результаты расчета нагрузок жилых домов

Адрес	$n_{\text{лифт}},$ шт.	$n_{\text{эт.}},$ шт.	$n_{\text{кв.}},$ шт.	$n_{\text{с-т.у.}},$ шт.	$P_{\text{лифт},i},$ кВт				$P_{\text{уд.кв.}},$ кВт/шт.	$P_{\text{расч.кв.}},$ кВт	$K_{\text{слифт}}$	$P_{\text{расч.лифт}},$ кВт	$P_{\text{расч.с-т.у.}},$ кВт	$P_{\text{расч.ЖД}},$ кВт
					3	-	-	-						
ул. Дачная 41	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Дачная 41/1	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Дачная 43	4	12	96	10	3	5	-	-	1,52	145,92	0,7	5,6	25	173,46
ул. Пензенская 61	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Пензенская 63	6	9	216	22	3	-	-	-	1,34	289,44	0,65	1,95	55	340,695
ул. Пензенская 65	4	9	36	4	3	5	3	5	1,98	71,28	0,7	11,2	10	90,36
ул. Пензенская 67	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Пензенская 69	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Пензенская 71	4	9	144	14	3	-	-	-	1,44	207,36	0,7	2,1	35	240,75
ул. Тухачевского 30	4	9	144	14	3	-	-	-	1,44	207,36	0,7	2,1	35	240,75
ул. Тухачевского 40	4	12	96	10	3	5	-	-	1,52	145,92	0,8	6,4	25	174,18
ул. Тухачевского 40А	8	25	400	40	4	6	-	-	1,27	508	0,65	6,5	100	603,85
ул. Тухачевского 42	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Тухачевского 44	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Тухачевского 46	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Тухачевского 48	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Тухачевского 50	4	12	96	10	3	5	-	-	1,52	145,92	0,8	6,4	25	174,18
ул. Тухачевского 50А	2	16	64	6	3	5	-	-	1,7	108,8	0,9	7,2	15	128,78
ул. Тухачевского 52	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Тухачевского 54	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Тухачевского 56	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11
ул. Тухачевского 58	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Владимирская 58	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Владимирская 56	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Владимирская 54	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Владимирская 50	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91

Продолжение таблицы 5

Адрес	$n_{\text{лифт}},$ шт.	$n_{\text{эт.}},$ шт.	$n_{\text{кв}},$ шт.	$n_{\text{с-т.у.}},$ шт.	$P_{\text{лифт.}i},$ кВт			$P_{\text{уд.кв}},$ кВт/шт.	$P_{\text{расч.кв}},$ кВт	$K_{\text{слифт}}$	$P_{\text{расч.лифт}},$ кВт	$P_{\text{расч.с-т.у}},$ кВт	$P_{\text{расч.ЖД}},$ кВт	
ул. Владимирская 48	7	9	252	25	3	-	-	-	0,56	141,12	0,65	1,95	62,5	199,12 5
ул. Пензенская 57	3	9	108	11	3	-	-	-	1,5	162	0,8	2,4	27,5	188,91
ул. Пензенская 59	2	9	72	7	3	-	-	-	1,6	115,2	0,8	2,4	17,5	133,11

Расчетная нагрузка объектов общественного питания определяется исходя из числа мест для посетителей, согласно [19] и с учетом требований [5] по выражению:

$$P_{\text{расч.общ.пит}} = 0,15 \cdot \frac{S_{\text{зд.}}}{S_{\text{гостя}}} \cdot p_{\text{уд.общ.пит.}} \quad (8)$$

где $S_{\text{зд.}}$ – площадь здания согласно данным таблицы 2, м²;

$S_{\text{гостя}}$ – площадь, принимаемая на одного гостя предприятия общественного питания, согласно [5] принимается $S_{\text{гостя}} = 2$ м²;

$p_{\text{уд.общ.пит.}}$ – удельная мощность предприятий общественного питания, кВт/гость.

По (8) для кафе (позиция 36 рисунок 1) с учетом данных таблицы 2 получим:

$$P_{\text{расч.общ.пит}} = 0,15 \cdot \frac{700}{2} \cdot 1,04 = 54,6 \text{ (кВт)}$$

Расчетная мощность подземного гаража – ГСК 154 определяется выражением:

$$P_{\text{расч.ГСК}} = p_{\text{уд.ГСК}} \cdot n_{\text{м.м}} = 0,12 \cdot 500 = 60 \text{ (кВт)}$$

Для всех объектов микрорайона №8, после определения значений расчетной мощности, необходимо определить реактивную мощность, полную мощность и расчетный ток на вводе в здание. Расчетное значение реактивной мощности объектом микрорайона №8 определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч.}i} = P_{\text{расч.}i} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (9)$$

где $P_{\text{расч.}i}$ – расчетная активная мощность i -го объекта микрорайона №8, кВт;
 $\text{tg } \varphi_i$ – коэффициента реактивной мощности i -го объекта микрорайона №8, определяется по величине справочного значения $\cos \varphi_i$ из [19].

Полная мощность объекта микрорайона №8 определяется по выражению:

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

где $Q_{\text{расч.}i}$ – расчетная мощность i -го объекта микрорайона №8, квар;
 $P_{\text{расч.}i}$ – расчетная активная мощность i -го объекта микрорайона №8, кВт.

Расчетный ток определяется выражением:

$$I_{\text{расч.}i} = \frac{S_{\text{расч.}i}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.сети}}} \quad (11)$$

где $S_{\text{расч.}i}$ – расчетное значение полной мощности, определенное по выражению (10) для i -го объекта микрорайона №8, кВА;
 $U_{\text{ном.сети}}$ – номинальное напряжение на вводе в i -й объект микрорайона №8, для всех объектов микрорайона принимаем $U_{\text{ном.сети}} = 0,38$ кВ.

По выражениям (9) - (11) выполним расчет для здания кафе (позиция 36 рисунок 1).

Реактивная мощность:

$$Q_{\text{расч.п.36}} = 54,6 \cdot ,033 = 18,02 \text{ (квар)}$$

Полная мощность:

$$S_{\text{расч.п.36}} = \sqrt{18,02^2 + 54,6^2} = 57,49 \text{ (кВА)} \quad (12)$$

Расчетный ток:

$$I_{\text{расч.п.36}} = \frac{57,49}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 87,37 \text{ (А)} \quad (13)$$

По результатам определения расчетных нагрузок активной, реактивной и полной мощностей для каждого объекта микрорайона №8 необходимо определить естественный коэффициент активной и реактивной мощностей.

Естественный коэффициент активной мощности:

$$\cos \varphi_{\text{ест.}i} = \frac{P_{\text{расч.}i}}{S_{\text{расч.}i}} \quad (14)$$

Естественный коэффициент реактивной мощности:

$$\text{tg } \varphi_{\text{ест.}i} = \frac{Q_{\text{расч.}i}}{P_{\text{расч.}i}} \quad (15)$$

Для здания кафе (позиция 36 рисунок 1) по (14) и (15) получим:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{\text{ест.п.36}} &= \frac{P_{\text{расч.}i}}{S_{\text{расч.}i}} = \frac{54,6}{57,49} = 0,95 \\ \text{tg } \varphi_{\text{ест.п.36}} &= \frac{Q_{\text{расч.}i}}{P_{\text{расч.}i}} = \frac{18,02}{54,6} = 0,33 \end{aligned}$$

Расчеты для всех объектов микрорайона №8 выполняются аналогично, результаты сведем в общую таблицу 6.

Таблица 6 - Результаты расчета нагрузок микрорайона №8

Номер на плане	Адрес объекта	Тип объекта	$P_{расч.i}$, кВт	$Q_{расч.i}$, квар	$S_{расч.i}$, кВА	$I_{расч.i}$, А	$\cos \varphi_{ест.i}$	$\operatorname{tg} \varphi_{ест.i}$
1	улица Дачная 41	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
2	улица Дачная 41/1	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
3	улица Дачная 43	Жилой дом	145,92	156,7056	233,8	355,2	0,74	0,9
4	улица Пензенская 61	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
5	улица Пензенская 63	Жилой дом	289,44	311,2792	461,5	701,2	0,74	0,91
6	улица Пензенская 65	Жилой дом	71,28	78,1904	119,5	181,6	0,76	0,87
7	улица Пензенская 67	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
8	улица Пензенская 69	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
9	улица Пензенская 71	Жилой дом	207,36	219,9448	326,1	495,5	0,74	0,91
11	улица Тухачевского 30	Жилой дом	207,36	219,9448	326,1	495,5	0,74	0,91
12	улица Тухачевского 40	Жилой дом	145,92	157,0056	234,5	356,3	0,74	0,9
13	улица Тухачевского 40А	Жилой дом	508	550,04	816,8	1241	0,74	0,91
14	улица Тухачевского 42	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
15	улица Тухачевского 44	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
16	улица Тухачевского 46	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
17	улица Тухачевского 48	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
18	улица Тухачевского 50	Жилой дом	145,92	157,0056	234,5	356,3	0,74	0,9
19	улица Тухачевского 50А	Жилой дом	108,8	115,284	172,8	262,5	0,75	0,9
20	улица Тухачевского 52	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
21	улица Тухачевского 54	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
22	улица Тухачевского 56	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
23	улица Тухачевского 58	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
24	Владимирская улица, 58	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
25	Владимирская улица, 56	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
26	Владимирская улица, 54	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
28	Владимирская улица, 50	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91

Продолжение таблицы 6

Номер на плане	Адрес объекта	Тип объекта	$P_{расч.i},$ кВт	$Q_{расч.i},$ квар	$S_{расч.i},$ кВА	$I_{расч.i},$ А	$\cos \varphi_{ест.i}$	$\operatorname{tg} \varphi_{ест.i}$
29	Владимирская улица, 48	Жилой дом	141,12	178,9416	267,7	406,7	0,74	0,9
30	улица Пензенская 57	Жилой дом	162	172,16	255,6	388,3	0,74	0,91
31	улица Пензенская 59	Жилой дом	115,2	121,136	180	273,5	0,74	0,91
32	улица Пензенская 59А	Детский сад	66	13,4	67,3	102,3	0,98	0,2
33	Владимирская улица, 50А	Административное здание	224,64	139,2	264,3	401,6	0,85	0,62
34	Владимирская улица, 50	подземный гараж	64	31	71,1	108	0,9	0,48
35	Пензенская улица, 65А	Школа	387,2	127,3	407,6	619,3	0,95	0,33
36	Улица Тухачевского, 56а	Кафе	54,6	17,9	57,5	87,4	0,95	0,33
37	Пензенская улица, 69А	Детский сад	55	11,2	56,1	85,2	0,98	0,2
38	Владимирская улица, 60	Торговый центр	385,44	238,9	453,5	689	0,85	0,62
$\Sigma P_{расч.i},$ кВт			5860,8	-	-	-	-	-
				$\Sigma Q_{расч.i},$ квар	5533,1656	-	-	-
					$\Sigma S_{расч.i},$ кВА	8742,3	-	-

Выводы по разделу.

Во втором разделе выполнен расчет электрических нагрузок для микрорайона №8. Для всех объектов микрорайона определены расчетные значения активной, реактивной и полной мощностей. Расчетная активная мощность жилых домов микрорайона №8 определялась с учетом расчетной мощности квартир, мощности лифтовых установок и мощности сантехнических установок. Лифтовые и сантехнические установки относятся к силовым потребителям и имеют коэффициенты активной мощности отличные от значений для квартир, поэтому они учитывались при определении расчетных значений реактивной и полной мощности жилых домов. Для лифтовых установок использовались справочные значения коэффициента спроса, значение которого определялось по [19] в зависимости от числа этажей в жилом доме и количестве лифтовых установок.

Также для каждого здания определен расчетный ток на вводе. По расчетным значениям активной и реактивной мощности определены естественные значения коэффициентов активной и реактивной мощностей. Суммарная расчетная активная нагрузка микрорайона №8 по результатам расчета составила $\Sigma P_{\text{расч.}i} = 5860,8$ (кВт), расчетная реактивная нагрузка составила $\Sigma Q_{\text{расч.}i} = 5533,17$ (квар), а полная расчетная мощность $\Sigma S_{\text{расч.}i} = 8742,3$ (кВА). Результаты расчета нагрузок микрорайона №8 необходимы для выбора оборудования системы электроснабжения.

3 Выбор распределительных трансформаторов системы электроснабжения микрорайона №8

Представлены результаты выбора мест размещения трансформаторных подстанций (ТП) на территории микрорайона и выбора типа и мощности распределительных трансформаторов системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара.

Для выбора мощности трансформаторов выполним компоновку потребителей микрорайона №8 и распределим их по подстанциям. При распределении потребителей по подстанциям будем опираться на необходимость унификации мощности трансформаторов, а также близостью подключаемых к подстанциям потребителей. Результаты распределения потребителей микрорайона №8 г. Самара представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Распределение потребителей микрорайона №8 по ТП

Номер на плане	Адрес объекта	Тип объекта	$P_{расч.i}$, кВт	$Q_{расч.i}$, квар	$S_{расч.i}$, кВА
ТП 1					
29	ул. Владимирская 48	Жилой дом	141,12	178,9416	267,7
30	ул. Пензенская 57	Жилой дом	162	172,16	255,6
31	ул. Пензенская 59	Жилой дом	115,2	121,136	180
28	ул. Владимирская 50	Жилой дом	162	172,16	255,6
Итого по ТП 1			580,32	644,3976	958,9
ТП 2					
4	ул. Пензенская 61	Жилой дом	115,2	121,136	180
5	ул. Пензенская 63	Жилой дом	289,44	311,2792	461,5
6	ул. Пензенская 65	Жилой дом	71,28	78,1904	119,5
7	ул. Пензенская 67	Жилой дом	115,2	121,136	180
Итого по ТП 2			591,12		941
ТП 3					
8	ул. Пензенская 69	Жилой дом	115,2	121,136	180
9	ул. Пензенская 71	Жилой дом	207,36	219,9448	326,1
1	ул. Дачная 41	Жилой дом	162	172,16	255,6
2	ул. Дачная 41/1	Жилой дом	162	172,16	255,6
37	ул. Пензенская 69А	Детский сад	55	11,2	56,1
36	ул. Тухачевского 56а	Кафе	54,6	17,9	57,5
Итого по ТП 3			756,16	510,3577	1130,9

Продолжение таблицы 7

Номер на плане	Адрес объекта	Тип объекта	$P_{расч.i}$, кВт	$Q_{расч.i}$, квар	$S_{расч.i}$, кВА
ТП 7					
26	ул. Владимирская 54	Жилой дом	162	172,16	255,6
38	ул. Владимирская 60	Торговый центр	96,36	59,7	113,4
25	ул. Владимирская 56	Жилой дом	162	172,16	255,6
24	ул. Владимирская 58	Жилой дом	162	172,16	255,6
Итого по ТП 7			582,36	632,357	885,3
ТП 6					
32	ул. Пензенская 59А	Детский сад	66	13,4	67,3
34	ул. Владимирская 50	Подземный гараж	60	29,1	66,7
35	ул. Пензенская 65А	Школа	387,2	127,3	407,6
33	ул. Владимирская 50А	Административное здание	224,64	139,2	264,3
15	ул. Тухачевского 44	Жилой дом	115,2	121,136	180
Итого по ТП 6			853,04	307,24	985,9
ТП 8					
11	ул. Тухачевского 30	Жилой дом	207,36	219,9448	326,1
12	ул. Тухачевского 40	Жилой дом	145,92	157,0056	234,5
13	ул. Тухачевского 40А	Жилой дом	508	550,04	816,8
Итого по ТП 8			861,28	662,136	1377,4
ТП 5					
14	ул. Тухачевского 42	Жилой дом	115,2	121,136	180
15	ул. Тухачевского 44	Жилой дом	115,2	121,136	180
16	ул. Тухачевского 46	Жилой дом	162	172,16	255,6
17	ул. Тухачевского 48	Жилой дом	115,2	121,136	180
18	ул. Тухачевского 50	Жилой дом	145,92	157,0056	234,5
20	ул. Тухачевского 52	Жилой дом	115,2	121,136	180
Итого по ТП 5			768,72	581,221	1210,1
ТП 4					
19	ул. Тухачевского 50А	Жилой дом	108,8	115,284	172,8
21	ул. Тухачевского 54	Жилой дом	162	172,16	255,6
22	ул. Тухачевского 56	Жилой дом	115,2	121,136	180
23	ул. Тухачевского 58	Жилой дом	162	172,16	255,6
3	ул. Дачная 43	Жилой дом	145,92	156,7056	233,8
Итого по ТП 4			693,92	784,1429	1097,8

На рисунке 3 представлен план расположения трансформаторных подстанций на генеральном плане микрорайона №8 г. Самара.



Рисунок 3 - Расположение трансформаторных подстанций в микрорайоне №8

Требуемую мощность распределительных трансформаторов для подстанций микрорайона №8 г. Самара определим по выражению:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.}i} = \frac{S_{\Sigma.\text{ТП.}i}}{K_{\text{дап}} \cdot (n_{\text{транс.}i} - 1)} \quad (16)$$

где $S_{\Sigma.\text{ТП.}i}$ – суммарная нагрузка i -й трансформаторной подстанции определенная в таблице 7, кВА;

$K_{\text{дап}}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки трансформатора на подстанции, определяется от числа установленных на подстанции трансформаторов по [18];

$n_{\text{транс.}i}$ – число установленных на подстанции трансформаторов, для микрорайона №8 принято для всех ТП $n_{\text{транс.}i} = 2$, шт.

По (16) используя данные таблицы 7 для выполним расчет для всех ТП микрорайона №8 г. Самара.

Для ТП 1 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.1}} = \frac{958,9}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 684,9 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 2 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.2}} = \frac{941}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 672,14 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 3 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.3}} = \frac{1130,9}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 807,78 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 7 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.7}} = \frac{885,3}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 632,357 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 6 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.6}} = \frac{985,9}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 704,214 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 8 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.8}} = \frac{1377,4}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 983,857 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 5 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.5}} = \frac{1210,1}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 864,357 \text{ (кВА)}$$

Для ТП 4 получим:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.4}} = \frac{1097,8}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 784,14 \text{ (кВА)}$$

Для определения мощности трансформаторов, устанавливаемых на подстанциях микрорайона №8, воспользуемся шкалой стандартных мощностей трансформаторов [4]. Для выбора мощности необходимо использовать условие:

$$S_{\text{транс.расч.ТП.}i} > S_{\text{транс.расч.ст}} \quad (17)$$

где $S_{\text{транс.расч.ст}}$ – стандартное значение мощности трансформатора согласно [4], кВА.

Для всех ТП микрорайона №8 условие (17) выполняется для стандартного значения мощности $S_{\text{транс.расч.ст}} = 1000$ кВА. Поэтому для установки на трансформаторных подстанциях примем трансформаторы с номинальной мощностью $S_{\text{транс.ном}} = S_{\text{транс.расч.ст}} = 1000$ (кВА).

Для определения типа трансформатора необходимо использовать каталоги производителей трансформаторного оборудования. В рамках выполнения выпускной квалификационной работы будем использовать трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор» [12].

Для подстанций микрорайона №8 г. Самара примем к установке трансформаторы марки ТМГ производства ООО «Тольяттинский трансформатор». По каталогу производителя определим паспортные данные трансформатора марки ТМГ с номинальной мощностью $S_{\text{транс.ном}} = 1000$ (кВА). Паспортные данные сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Паспортные данные трансформатора ТП

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значения параметров
			ТМГ 1000
Мощность	$S_{\text{транс.ном}}$	кВА	1000
Напряжение обмотки ВН	$U_{\text{ВН.ном}}$	кВ	6
Напряжение обмотки НН	$U_{\text{НН.ном}}$	кВ	0,4
Ток холостого хода	$i_{\text{хх.}\%}$	%	0,21
Напряжение короткого замыкания	$u_{\text{кз.}\%}$	%	5,5
Потери холостого хода	$P_{\text{хх}}$	кВт	1,1
Потери короткого замыкания	$P_{\text{кз}}$	кВт	10,5
Схема соединения обмотки ВН	-	-	Y
Схема соединения обмотки НН	-	-	$Y_{\text{H-0}}$

Выполним проверку выбранных трансформаторов по коэффициенту загрузки и проверим соответствие расчетного коэффициента с нормируемым согласно [18].

Коэффициент загрузки определим по выражению:

$$K_{\text{заг.расч.ТП.}i} = \frac{S_{\Sigma.\text{ТП.}i}}{n_{\text{транс}} \cdot S_{\text{транс.ном}}} \quad (18)$$

где $S_{\Sigma.\text{ТП.}i}$ – суммарная нагрузка i -й трансформаторной подстанции определенная в таблице 7, кВА;

$n_{\text{транс}}$ – число трансформаторов на ТП, для всех ТП микрорайона принято $n_{\text{транс}} = 2$, шт;

$S_{\text{транс.ном}}$ – номинальная мощность выбранного трансформатора согласно данным таблицы 8, для всех ТП микрорайона принято $S_{\text{транс.ном}} = 1000$, кВА.

Условие для проверки выбранных трансформаторов по коэффициенту загрузки:

$$K_{\text{заг.расч.ТП.}i} < K_{\text{заг.норм}} \quad (19)$$

где $K_{\text{заг.норм}}$ – нормируемый коэффициент загрузки трансформатора, согласно [18], для двух трансформаторов на ТП $K_{\text{заг.норм}} = 0,7$.

Для ТП 1 по (18) и (19) получим:

$$K_{\text{заг.расч.ТП.1}} = \frac{958,9}{2 \cdot 1000} = 0,48$$

$$K_{\text{заг.расч.ТП.1}} = 0,48 < K_{\text{заг.норм}} = 0,7$$

Так как для ТП 1 условие (19) выполняется, то для ТП 1 принимается трансформатор марки ТМГ 1000/6/0,4.

Для всех остальных подстанций микрорайона №8 расчет и проверка выполняется аналогично ТП 1. Все результаты проверки сведем в таблицу 9.

Таблица 9 - Результаты проверки трансформаторов ТП

Наименование ТП	$S_{\Sigma, \text{ТП}, i}$, кВА	$n_{\text{транс}}$, шт.	$S_{\text{транс. ном}}$, кВА	$K_{\text{заг. расч. ТП}, i}$	Условие (19) выполняется, да/нет
ТП 1	958,9	2	1000	0,47945	да
ТП 2	941			0,4705	да
ТП 3	1130,9			0,56545	да
ТП 7	885,3			0,44265	да
ТП 6	985,9			0,49295	да
ТП 8	1377,4			0,6887	да
ТП 5	1210,1			0,60505	да
ТП 4	1097,8			0,5489	да

По данным таблицы 9 для всех ТП микрорайона №8 коэффициент загрузки не превышает нормируемое значение. Поэтому все трансформаторы могут быть использованы в системе электроснабжения микрорайона №8 г. Самара.

Для оценки эффективности работы трансформаторов на ТП микрорайона №8 выполним расчет потерь мощности для всех трансформаторных подстанций. Расчет потерь мощности выполним по методике представленной в [13] и [10].

Потери активной ($\Delta P_{\text{расч. ТП}, i}$) и реактивной ($\Delta Q_{\text{расч. ТП}, i}$) мощности в трансформаторах, обусловленные нагрузкой и параметрами трансформатора определяются выражениями:

$$\Delta P_{\text{расч. ТП}, i} = \left(\frac{P_{\text{кз}}}{n_{\text{транс}, i}} \cdot \left(\frac{S_{\Sigma, \text{ТП}, i}}{S_{\text{тр. ном}, i}} \right)^2 + n_{\text{транс}, i} \cdot P_{\text{хх}} \right) \quad (20)$$

$$\Delta Q_{\text{расч. ТП}, i} = \left(\frac{i_{\text{хх}, \%}}{100} + \frac{u_{\text{кз}, \%}}{n_{\text{транс}, i} \cdot 100} \cdot \left(\frac{S_{\Sigma, \text{ТП}, i}}{S_{\text{транс. ном}}} \right)^2 \right) \cdot S_{\text{транс. ном}} \quad (21)$$

где $P_{\text{кз}}$ – паспортное значение потерь короткого замыкания, принимаем по таблице 8, кВт;

$n_{\text{транс}, i}$ – число трансформаторов на i -й подстанции, для всех ТП принято $n_{\text{транс}, i} = 2$, шт;

$S_{\Sigma, \text{ТП.}i}$ – суммарная нагрузка i -й трансформаторной подстанции определенная в таблице 7, кВА;

$S_{\text{транс.ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, установленного на ТП, принимаем по таблице 8, кВА;

$P_{\text{хх}}$ – паспортное значение потерь холостого хода, принимаем по таблице 8, кВт;

$i_{\text{хх.}\%}$ – относительное значение тока холостого хода, принимаем по таблице 8, %;

$u_{\text{кз.}\%}$ – относительное значение напряжения короткого замыкания, принимаем по таблице 8, %.

Для ТП 1 по выражениям (20) и (21), а также данных таблиц 7 и 8 получим:

$$\Delta P_{\text{расч.ТП.1}} = \left(\frac{10,5}{2} \cdot \left(\frac{958,9}{1000} \right)^2 + 2 \cdot 1,1 \right) = 7,027 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{расч.ТП.1}} = \left(\frac{0,21}{100} + \frac{5,5}{2 \cdot 100} \cdot \left(\frac{958,9}{1000} \right)^2 \right) \cdot 1000 = 27,386 \text{ (кар)}$$

Значение потерь для ТП 1 справедливо только для режима максимальной загрузки трансформаторов, во всех остальных режимах потери будут изменяться. Режим минимума потерь в трансформаторе определяется оптимальным коэффициентом загрузки, который определяется согласно [3] по выражению:

$$K_{\text{заг.опт.тр}} = \sqrt{\frac{P_{\text{хх}}}{P_{\text{кз}}}} \quad (22)$$

где $P_{\text{хх}}$ – паспортное значение потерь холостого хода, принимаем по таблице 8, кВт;

$P_{кз}$ – паспортное значение потерь короткого замыкания, принимаем по таблице 8, кВт.

Для принятых к установке на ТП микрорайона трансформаторов марки ТМГ 1000/6/0,4 кВ коэффициент загрузки, соответствующий минимуму потерь:

$$K_{\text{заг.опт.тр}} = \sqrt{\frac{1,1}{10,5}} = 0,324$$

Расчет потерь активной и реактивной мощностей в трансформаторах системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара выполняется аналогично расчетам для ТП 1. Результаты расчета потерь мощности для всех ТП сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчетные потери мощности на ТП микрорайона №8

Наименование ТП	$S_{\Sigma, \text{ТП}, i}$, кВА	$\Delta P_{\text{расч.ТП}, i}$, кВт	$\Delta Q_{\text{расч.ТП}, i}$, квар
ТП 1	958,9	7,027318	27,38595
ТП 2	941	6,848775	26,45073
ТП 3	1130,9	8,914408	37,27071
ТП 7	885,3	6,314719	23,65329
ТП 6	985,9	7,302994	28,82997
ТП 8	1377,4	12,16046	54,27385
ТП 5	1210,1	9,887796	42,36941
ТП 4	1097,8	8,527115	35,24203
Итого		66,98358703	275,4759321

Выводы по разделу.

В третьем разделе выпускной квалификационной работы определены места размещения и число трансформаторных подстанций. Принято установить в микрорайоне №8 восемь трансформаторных подстанций. При распределении потребителей по подстанциям учитывалась необходимость

унификации трансформаторов, а также близость подключаемых к подстанциям потребителей.

Все трансформаторные подстанции выполняются с двумя трансформаторами, так как в каждом объекте присутствуют потребители I и II категорий надежности электроснабжения [11].

Для установки в ТП приняты трансформаторы марки ТМГ 1000/6/0,4 кВ - трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор».

Все выбранные трансформаторы проверены на соответствие нормируемому коэффициенту загрузки. Для всех ТП микрорайона №8 коэффициент загрузки не превышает 0,7.

Для всех трансформаторных подстанций микрорайона №8 г. Самара определены значения потерь активной и реактивной мощностей. Суммарное значение потерь активной мощности в трансформаторах системы электроснабжения составили $\Delta P_{\text{расч.ТП.}\Sigma} = 66,98$ (кВт), а потери реактивной мощности составили $\Delta Q_{\text{расч.ТП.}\Sigma} = 275,476$ (квар). Расчетные значения потерь соответствуют максимальному расчетному режиму загрузки подстанций. Наибольшее значение потерь активной и реактивной мощности соответствуют подстанции ТП 8 - $\Delta P_{\text{расч.ТП.8}} = 12,16$ (кВт), $\Delta Q_{\text{расч.ТП.6}} = 54,274$ (квар). Подстанция ТП 8 по результатам расчетов имеет наибольший коэффициент загрузки $K_{\text{заг.расч.ТП.8}} = 0,6887$.

4 Распределительная сеть микрорайона №8 г. Самара

Представлены результаты выбора кабельных линий для питания трансформаторных подстанций микрорайона №8 г. Самара.

Для питания подстанций микрорайона и выборов кабелей необходимо определить схему распределительной сети. Для микрорайонов городов могут применяться несколько видов распределительных схем: петлевые, радиальные, многолучевые, комбинированные.

Радиальные схемы не рекомендуется применять в районах городов, их применение может быть обосновано только как первый этап создания системы электроснабжения района города, т.е. на этапе строительства микрорайона. Впоследствии радиальные схемы должны совершенствоваться и модернизироваться.

В районах многоэтажной застройки, с жилыми домами с числом этажей 9 и выше, рекомендуется использовать петлевые-двухлучевые схемы распределительной сети 6 кВ. Применение подобных схем оправдано наличием в районах с многоэтажной застройкой потребителей I и II категорий надежности электроснабжения. Поэтому для микрорайона №8 г. Самары выбрана двухлучевая-петлевая схема распределительной сети 6 кВ с двухсторонним питанием, схема распределительной сети представлена на рисунке 4.

Для выбора кабелей питающих линий распределительной сети 6 кВ микрорайона №8 необходимо рассчитать перетоки мощности по каждой линии и относительно каждого источника питания в нормальном режиме. При расчете перетоков мощности в каждой линии примем, что нагрузки каждой ТП микрорайона №8 г. Самары распределены между трансформаторами равномерно.

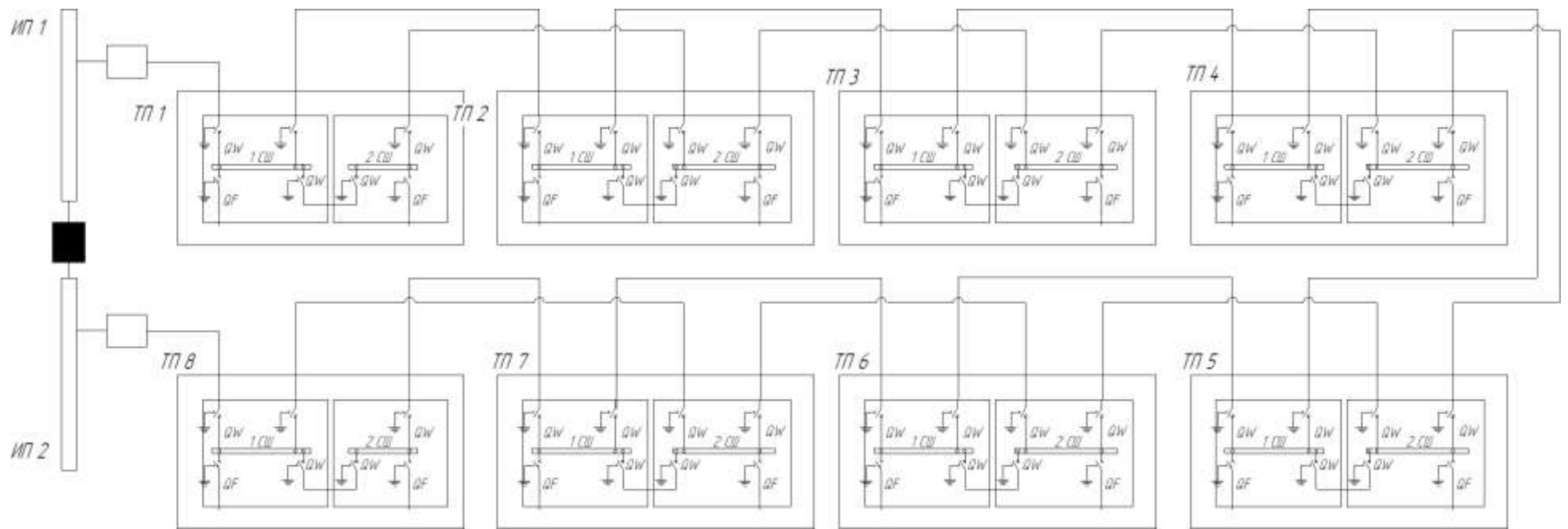


Рисунок 4 - Схема распределительной сети 6 кВ микрорайона №8 г. Самара

Мощность, протекающая в линии, определяется выражением:

$$S_{a-b} = K_{см} \cdot \sum_{i=1}^n (S_{тр.ТПi} + \Delta S_{тр.ТПi}) \quad (23)$$

где $K_{см}$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузки, принимается по [9] в зависимости от числа трансформаторов, подключенных к линии.

$S_{тр.ТПi}$ – активная мощность потребителей трансформатора i -й ТП, кВА;

$\Delta S_{тр.ТПi}$ – комплексные потери мощности в трансформаторе i -й ТП, кВА.

Исходные данные для расчетов перетоков мощности по выражению (23) сведем в таблицу 11.

Таблица 11 - Исходные данные для расчета перетоков мощности

Наименование ТП	Мощность с учетом потерь		Потери в трансформаторах ТП		
	$S_{\Sigma,ТП,i}$, кВА	$S_{тр.ТПi}$, кВА	$\Delta P_{расч.ТП,i}$, кВт	$\Delta Q_{расч.ТП,i}$, квар	$\Delta S_{тр.ТПi}$, кВА
ТП 1	973,0328	486,5164	3,51	13,69	14,13281
ТП 2	954,6649	477,3324	3,42	13,23	13,66489
ТП 3	1150,066	575,0331	4,46	18,64	19,16615
ТП 7	897,5448	448,7724	3,16	11,83	12,24477
ТП 6	1000,765	500,3825	3,65	14,41	14,86508
ТП 8	1405,213	702,6063	6,08	27,14	27,81269
ТП 5	1231,848	615,9242	4,94	21,18	21,74847
ТП 4	1115,928	557,9638	4,26	17,62	18,12766

По (23) выполним расчеты согласно схеме, представленной на рисунке 4. Результаты сведем в таблицу 12 для магистрали от ИП 1, а в таблицу 13 для магистрали от ИП 2.

Таблица 12 - Перетоки мощности в линиях магистрали от ИП 1

Наименование линии		$n_{\text{тр.ТП}},$ шт.	$K_{\text{см}}$	С учетом потерь в трансформаторах ТП, кВА								
Пункт a	Пункт b			$S_{\text{тр.ТП1}}$	$S_{\text{тр.ТП2}}$	$S_{\text{тр.ТП3}}$	$S_{\text{тр.ТП4}}$	$S_{\text{тр.ТП5}}$	$S_{\text{тр.ТП6}}$	$S_{\text{тр.ТП7}}$	$S_{\text{тр.ТП8}}$	S_{a-b}
ИП1	ТП1	8	0,8	486,5164	477,3324	575,0331	557,9638	615,9242	500,3825	448,7724	702,6063	3491,625
ТП1	ТП2	7	0,8	-	477,3324	575,0331	557,9638	615,9242	500,3825	448,7724	702,6063	3102,412
ТП2	ТП3	6	0,8	-	-	575,0331	557,9638	615,9242	500,3825	448,7724	702,6063	2720,546
ТП3	ТП4	5	0,85	-	-	-	557,9638	615,9242	500,3825	448,7724	702,6063	2401,802
ТП4	ТП5	4	0,85	-	-	-	-	615,9242	500,3825	448,7724	702,6063	1927,533
ТП5	ТП6	3	0,85	-	-	-	-	-	500,3825	448,7724	702,6063	1403,997
ТП6	ТП7	2	0,9	-	-	-	-	-	-	448,7724	702,6063	1036,241
ТП7	ТП8	1	1	-	-	-	-	-	-	-	702,6063	702,6063

Таблица 13 - Перетоки мощности в линиях магистрали от ИП 2

Наименование линии		$n_{\text{тр.ТП}},$ шт.	$K_{\text{см}}$	С учетом потерь в трансформаторах ТП, кВА								
Пункт a	Пункт b			$S_{\text{тр.ТП1}}$	$S_{\text{тр.ТП2}}$	$S_{\text{тр.ТП3}}$	$S_{\text{тр.ТП4}}$	$S_{\text{тр.ТП5}}$	$S_{\text{тр.ТП6}}$	$S_{\text{тр.ТП7}}$	$S_{\text{тр.ТП8}}$	S_{a-b}
ИП2	ТП8	8	0,8	702,6063	448,7724	500,3825	615,9242	557,9638	575,0331	477,3324	486,5164	3491,625
ТП8	ТП7	7	0,8	-	605,05	688,7	492,95	442,65	565,45	470,5	479,45	2995,8
ТП7	ТП6	6	0,8	-	-	688,7	492,95	442,65	565,45	470,5	479,45	2511,76
ТП6	ТП5	5	0,85	-	-	-	492,95	442,65	565,45	470,5	479,45	2083,35
ТП5	ТП4	4	0,85	-	-	-	-	442,65	565,45	470,5	479,45	1664,343
ТП4	ТП3	3	0,85	-	-	-	-	-	565,45	470,5	479,45	1288,09
ТП3	ТП2	2	0,9	-	-	-	-	-	-	470,5	479,45	854,955
ТП2	ТП1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	479,45	479,45

После определения перетоков мощности в линиях распределительной сети 6 кВ микрорайона №8 г. Самара необходимо выполнить выбор кабельных линий. Выбор кабельных линий выполним по методике экономической плотности тока [21]. Экономическая плотность тока выбирается исходя из числа часов использования максимальной нагрузки. Для городских районов с электрическими плитами, согласно [7] и [6], число часов использования максимальной нагрузки находится в пределах от 4500 ч до 5000 ч. Согласно [18] для указанного числа часов использования максимальной нагрузки экономическая плотность тока составляет $J_{э.п.т} = 1,7 \left(\frac{А}{мм^2} \right)$. Выражение для определения расчетного сечения кабельной линии по экономической плотности тока согласно [21]:

$$F_{КЛ,расч.а-б} = \frac{I_{расч.а-б}}{J_{э.п.т}} \quad (24)$$

где $I_{расч.а-б}$ – расчетное значение тока в линии $a - b$, соответствующее режиму максимальных нагрузок. Определяется таблицами 12 и 13, А.

Расчетное значение тока в линии определяется выражением:

$$I_{расч.а-б} = \frac{S_{а-б}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.сети}} \quad (25)$$

где $S_{а-б}$ – мощность в линии $a - b$ с учетом потерь в трансформаторах соответствующее режиму максимальных нагрузок. Определяется таблицами 12 и 13, кВА;

$U_{ном.сети}$ – номинальное напряжение сети. Для микрорайона №8 г. Самары принято $U_{ном.сети} = 6$, кВ.

По выражениям (24) и (25), а также данных таблицы 12, определим расчетное значение сечения кабельной линии от ИП1 до ТП 1:

$$I_{\text{расч.ИП1-ТП1}} = \frac{3491,625}{\sqrt{3} \cdot 6} = 335,98 \text{ (А)}$$

$$F_{\text{КЛ.расч.ИП1-ТП1}} = \frac{335,98}{1,7} = 197,64 \text{ (мм}^2\text{)}$$

По значению расчетного сечения $F_{\text{КЛ.расч.ИП1-ТП1}} = 197,64 \text{ (мм}^2\text{)}$ необходимо выбрать большее стандартное сечение $F_{\text{КЛ.ст.ИП1-ТП1}} = 240 \text{ (мм}^2\text{)}$. Исходя из стандартного сечения кабеля, а также учитывая групповую прокладку кабелей по территории микрорайона №8 в земле выберем по каталогам производителей кабель марки АПВВнг(А)-LS 3×240/25.

Для всех остальных кабельных линий 6 кВ распределительной сети микрорайона №8 расчет выполняется аналогично линии ИП1-ТП1, выбор сечения и марки кабельных линий сведем в таблицу 14.

Таблица 14 - Выбор кабельных линии распределительной сети 6 кВ

Наименование линии		S_{a-b} , кВА	$I_{\text{расч.}a-b}$, А	$F_{\text{КЛ.расч.}a-b}$, мм ²	Выбранная марка кабельной линии
Пункт <i>a</i>	Пункт <i>b</i>				
ИП1	ТП1	3491,625	335,9818	197,6363	АПВВнг(А)-LS 3×240
ТП1	ТП2	2995,8	288,271	169,5712	АПВВнг(А)-LS 3×185
ТП2	ТП3	2511,76	241,6942	142,1731	АПВВнг(А)-LS 3×185
ТП3	ТП4	2083,35	200,4704	117,9238	АПВВнг(А)-LS 3×150
ТП4	ТП5	1664,343	160,1514	94,20672	АПВВнг(А)-LS 3×120
ТП5	ТП6	1288,09	123,9465	72,90972	АПВВнг(А)-LS 3×95
ТП6	ТП7	854,955	82,26808	48,39299	АПВВнг(А)-LS 3×70
ТП7	ТП8	479,45	46,1351	27,13829	АПВВнг(А)-LS 3×50
ИП2	ТП8	6210,218	335,9818	197,6363	АПВВнг(А)-LS 3×240
ТП8	ТП7	2808,563	288,271	169,5712	АПВВнг(А)-LS 3×185
ТП7	ТП6	2354,775	241,6942	142,1731	АПВВнг(А)-LS 3×185
ТП6	ТП5	1960,8	200,4704	117,9238	АПВВнг(А)-LS 3×150
ТП5	ТП4	1664,343	160,1514	94,20672	АПВВнг(А)-LS 3×120
ТП4	ТП3	1288,09	123,9465	72,90972	АПВВнг(А)-LS 3×95
ТП3	ТП2	807,4575	82,26808	48,39299	АПВВнг(А)-LS 3×70
ТП2	ТП1	431,505	46,1351	27,13829	АПВВнг(А)-LS 3×50

Выбранные кабели необходимо проверить по допустимому току в послеаварийном режиме. Для двухлучевых петлевых схем в качестве послеаварийного режима рассматривается режим питания всех потребителей

от одного источника, тогда нагрузка в кабельных линиях с учетом отключения одного из источников питания определится как сумма всех нагрузок трансформаторов ТП:

$$S_{a-b.ПAB} = K_{см} \cdot \sum_{i=1}^n (S_{ТПi} + \Delta S_{ТПi}) \quad (26)$$

Допустимый ток кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) в послеаварийном режиме определяется по выражению:

$$I_{доп.ПAB} = K_{пр.} \cdot K_t \cdot K_{загр.ПAB} \cdot I_{доп.} \quad (27)$$

где $K_{пр.}$ – коэффициент, учитывающий вид прокладки кабеля, для распределительной сети микрорайона, $K_{пр.} = 1$;

K_t – коэффициент, учитывающий температуру среды прокладки кабеля, принимается $K_t = 1,06$;

$K_{загр.ПAB}$ – коэффициент, учитывающий перегрузку кабеля, принимается по [20] для кабеля СПЭ изоляцией в послеаварийном режим $K_{загр.ПAB} = 1,25$;

$I_{доп.}$ – табличное значение тока для выбранного сечения кабеля, принимается по [8], А.

Расчет послеаварийного режима (ПAB) для кабельных линий при условии отключения источника ИП2 по (26) сведем в таблицу 15.

Таблица 15 - Перетоки мощности в линиях магистрали от ИП 1 в послеаварийном режиме

Наименование линии		$n_{\text{тр.ТП}}$, шт.	$K_{\text{см}}$	Послеаварийный режим с учетом потерь в трансформаторах, кВА								
	Пункт b			$S_{\text{ТП1}}$	$S_{\text{ТП2}}$	$S_{\text{ТП3}}$	$S_{\text{ТП4}}$	$S_{\text{ТП5}}$	$S_{\text{ТП6}}$	$S_{\text{ТП7}}$	$S_{\text{ТП8}}$	S_{a-b}
ИП1	ТП1	16	0,75	973,0328	954,6649	1150,066	1115,928	1231,848	1000,765	448,7724	1405,213	6210,218
ТП1	ТП2	14	0,75	-	605,05	688,7	492,95	442,65	565,45	470,5	479,45	2808,563
ТП2	ТП3	12	0,75	-	-	688,7	492,95	442,65	565,45	470,5	479,45	2354,775
ТП3	ТП4	10	0,8	-	-	-	492,95	442,65	565,45	470,5	479,45	1960,8
ТП4	ТП5	8	0,85	-	-	-	-	442,65	565,45	470,5	479,45	1664,343
ТП5	ТП6	6	0,85	-	-	-	-	-	565,45	470,5	479,45	1288,09
ТП6	ТП7	4	0,85	-	-	-	-	-	-	470,5	479,45	807,4575
ТП7	ТП8	2	0,9	-	-	-	-	-	-	-	479,45	431,505

По значениям, полученным в таблице 15 составим таблицу 16 в которой определим расчетный ток в линии с учетом мощности в ПАВ по выражению (25), также в таблицу 16 внесем расчетные значения допустимого тока по (27) для каждой выбранной кабельной линии.

Таблица 16 - Проверка кабельных линий для режима ПАВ

Наименование линии		$S_{a-b.П.А.В.}$, кВА	$I_{расч.a-b.П.А.В.}$, А	$I_{доп.}$, А	Выбранная марка кабельной линии	$I_{доп.П.А.В.}$, А
Пункт <i>a</i>	Пункт <i>b</i>					
ИП1	ТП1	6210,218	597,5785	426	АПВВнг(А)-LS3×240	564,45
ТП1	ТП2	2808,563	270,2541	371	АПВВнг(А)-LS3×185	491,575
ТП2	ТП3	2354,775	226,5883	371	АПВВнг(А)-LS3×185	491,575
ТП3	ТП4	1960,8	188,6781	329	АПВВнг(А)-LS3×150	435,925
ТП4	ТП5	1664,343	160,1514	298	АПВВнг(А)-LS 3×120	394,85
ТП5	ТП6	1288,09	123,9465	263	АПВВнг(А)-LS 3×95	348,475
ТП6	ТП7	807,4575	77,69763	240	АПВВнг(А)-LS 3×70	318
ТП7	ТП8	431,505	41,52159	195	АПВВнг(А)-LS 3×50	258,375

Кабель марки АПВВнг(А)-LS3×240 в линии ИП1-ТП1 не прошел проверку для послеаварийного режима, поэтому кабель для линии ИП1-ТП1 необходимо заменить на кабель с большим сечением. Примем для линии ИП1-ТП1 кабель большего сечения марки АПВВнг(А)-LS3×300. Для данного кабеля ток допустимой перегрузки по (27):

$$I_{доп.П.А.В.} = 1 \cdot 1,06 \cdot 1,25 \cdot 477 = 632 \text{ (А)}$$

Для данного кабеля ток послеаварийного режима меньше допустимого тока аварийной перегрузки, поэтому примем этот кабель для использования в распределительной сети 6 кВ микрорайона №8 г. Самара. Итоговую ведомость выбранных кабелей сведем в таблицу 17, параметры кабельных линий определим по [14].

Таблица 17 - Ведомость кабельных линий микрорайона №8

Наименование линии		Выбранная марка кабельной линии	Параметры кабеля		l_{a-b} , км
Пункт a	Пункт b		$r_{0.a-b}$, Ом/км	$x_{0.a-b}$, Ом/км	
ИП1	ТП1	АПВВнг(А)-LS3×300	0,100	0,167	1,1
ТП1	ТП2	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,23896
ТП2	ТП3	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,24214
ТП3	ТП4	АПВВнг(А)-LS3×150	0,206	0,179	0,2589
ТП4	ТП5	АПВВнг(А)-LS 3×120	0,253	0,184	0,23366
ТП5	ТП6	АПВВнг(А)-LS 3×95	0,320	0,189	0,1831
ТП6	ТП7	АПВВнг(А)-LS 3×70	0,443	0,196	0,29039
ТП7	ТП8	АПВВнг(А)-LS 3×50	0,641	0,204	0,139
ИП2	ТП8	АПВВнг(А)-LS3×300	0,100	0,167	1,25
ТП8	ТП7	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,139
ТП7	ТП6	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,29039
ТП6	ТП5	АПВВнг(А)-LS3×150	0,206	0,179	0,1831
ТП5	ТП4	АПВВнг(А)-LS 3×120	0,253	0,184	0,23366
ТП4	ТП3	АПВВнг(А)-LS 3×95	0,320	0,189	0,2589
ТП3	ТП2	АПВВнг(А)-LS 3×70	0,443	0,196	0,24214
ТП2	ТП1	АПВВнг(А)-LS 3×50	0,641	0,204	0,23896

Все кабельные линии необходимо проверить по величине потерь напряжения:

$$\Delta U_{a-b.B} = \frac{(P_{a-b} \cdot r_{0.a-b} + Q_{a-b} \cdot x_{0.a-b})}{U_{\text{ном.сети}}} \cdot l_{a-b} \quad (28)$$

где P_{a-b} – активная мощность, протекающая в линии $a - b$, кВт;

$r_{0.a-b}$ – удельное активное сопротивление линии $a - b$, Ом/км;

Q_{a-b} - реактивная мощность, протекающая в линии $a - b$, квар;

$x_{0.a-b}$ - удельное индуктивное сопротивление линии $a - b$, Ом/км;

l_{a-b} – длина линии $a - b$ определяемая по генеральному плану, км;

$U_{\text{ном.сети}}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

Для определения относительного значения потерь напряжения в линии используется выражение:

$$\Delta U_{a-b.\%} = \frac{\Delta U_{a-b.B}}{U_{\text{ном.сети}}} \cdot 100 \quad (29)$$

Напряжение в конце каждой линии:

$$U_{b.B} = U_{a.B} - \Delta U_{a-b.B} \quad (30)$$

где $U_{a.B}$ – напряжение в начале линии, кВ.

Выполним расчет потери напряжения для линии ИП1-ТП1 по выражениям (28), (29) и (30):

$$\Delta U_{\text{ИП1-ТП1.B}} = \frac{(5274,78 \cdot 0,1 + 4401,84 \cdot 0,167)}{6} \cdot 1,1 = 237,7 \text{ (В)}$$

$$\Delta U_{\text{ИП1-ТП1.\%}} = \frac{237,7}{6000} \cdot 100 = 3,99 \text{ (\%)}$$

$$U_{\text{ТП1.B}} = 6600 - 237,7 = 6360 \text{ (В)}$$

Для всех остальных линий расчет выполняется аналогично линии ИП1-ТП1. Результаты расчета сведем в таблицу 18.

По результатам расчета потерь напряжения в таблице 18 получено, что во всех линиях относительное значение потерь напряжения не превышает 5%, следовательно все линии могут быть использованы для питания трансформаторных подстанций микрорайона №8 г. Самара.

Вывод по разделу.

В четвертом разделе выпускной квалификационной работы определена схема распределительной сети системы электроснабжения. Для микрорайона №8 выбрана двухлучевая-петлевая схема распределительной сети. Двухлучевая-петлевая схема имеет высокие показатели надежности электроснабжения потребителей микрорайонов жилой застройки и рекомендуется для применения.

Таблица 18 - Расчет потерь напряжения в распределительной сети 6 кВ микрорайона №8 г. Самара

Наименование линии		Выбранная марка кабельной линии	Параметры кабеля		l_{a-b} , км	P_{a-b} , кВт	Q_{a-b} , квар	Расчетные значения		
Пункт a	Пункт b		$r_{0,a-b}$, Ом/км	$x_{0,a-b}$, Ом/км				$\Delta U_{a-b,B}$, В	$\Delta U_{a-b,\%}$, %	$U_{b,B}$, В
ИП1	ТП1	АПВВнг(А)-LS3×300	0,1	0,167	1,1	5724,78	4401,84	239,72	4	6360,28
ТП1	ТП2	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,238	5140,95	3743,75	59,67	0,99	6300,6
ТП2	ТП3	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,2421	4546,41	3112,01	52,07	0,87	6248,54
ТП3	ТП4	АПВВнг(А)-LS3×150	0,206	0,179	0,259	3785,79	2583,01	53,6	0,89	6194,93
ТП4	ТП5	АПВВнг(А)-LS 3×120	0,253	0,184	0,236	3087,61	2038,64	45,03	0,75	6149,9
ТП5	ТП6	АПВВнг(А)-LS 3×95	0,32	0,189	0,1831	2313,95	1436,24	30,88	0,51	6119,02
ТП6	ТП7	АПВВнг(А)-LS 3×70	0,443	0,196	0,2904	1457,26	1114,59	41,82	0,7	6077,21
ТП7	ТП8	АПВВнг(А)-LS 3×50	0,641	0,204	0,139	867,36	689,28	16,14	0,27	6061,07
ИП2	ТП8	АПВВнг(А)-LS3×300	0,1	0,167	1,25	5724,78	4401,84	272,41	4,54	6327,59
ТП8	ТП7	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,139	4857,42	3712,56	33,51	0,56	6294,08
ТП7	ТП6	АПВВнг(А)-LS3×185	0,164	0,175	0,29	4267,52	3287,24	61,71	1,03	6232,37
ТП6	ТП5	АПВВнг(А)-LS3×150	0,206	0,179	0,183	3410,83	2965,59	37,64	0,63	6194,72
ТП5	ТП4	АПВВнг(А)-LS 3×120	0,253	0,184	0,234	2637,17	2363,19	42,92	0,72	6151,81
ТП4	ТП3	АПВВнг(А)-LS 3×95	0,32	0,189	0,2589	1938,99	1818,83	41,61	0,69	6110,2
ТП3	ТП2	АПВВнг(А)-LS 3×70	0,443	0,196	0,242	1178,37	1289,83	31,27	0,52	6078,93
ТП2	ТП1	АПВВнг(А)-LS 3×50	0,641	0,204	0,239	583,83	658,09	20,25	0,34	6058,68

Питания системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара определено от подстанции 110/6 кВ «Центральная-3», которая расположена на расстоянии 800 метров от границы микрорайона №8. Источником №1 для питания первой магистрали распределительной сети является первая секция шин 6 кВ подстанции 110/6 кВ «Центральная-3», а источником 2 является вторая секция шин 6 кВ подстанции 110/6 кВ «Центральная-3».

Для распределительной сети микрорайона №8 г. Самара выполнен расчет перетоков мощности в распределительных линиях магистрали от источников электроснабжения до всех трансформаторных подстанций. Перетоки мощности в распределительной сети выполнены с учетом потерь активной и реактивной мощностей в трансформаторах на каждой ТП.

По результатам расчета перетоков мощности определен расчетный ток и выбраны кабели. Для распределительной сети микрорайона №8 г. Самара выбраны кабели марки АПвВнг(А)-LS – кабель с тремя алюминиевыми жилами (А) с изоляцией из сшитого полиэтилена (Пв), в поливинилхлоридной оболочке пониженной пожарной опасности (Внг), а также с пониженным выделением дыма (LS).

Все кабельные линии распределительной сети проверены по допустимому току перегрузки. Для проверки кабелей был рассчитаны перетоки мощности для послеаварийного (ПАВ) режима – вся нагрузка ТП переведена на один источник (ИП1). По результатам проверки кабелей на ПАВ режим был выбран кабель большего номинального сечения для линий ИП2-ТП8 и ИП1-ТП1 - АПвВнг(А)-LS3×300.

Итогом выполнения четвертого раздела ВКР выполнена проверка кабелей по допустимым потерям напряжения. Во всех кабельных линиях потерями напряжения не превысили 5%, следовательно, кабели могут быть использованы в проектируемой системе электроснабжения.

5 Токи короткого замыкания и проверка оборудования

Для расчета токов короткого замыкания необходимо согласно разработанной схеме распределительной сети составить расчетную схему. Расчет токов короткого замыкания выполним для магистрали от источника ИП1, так как эта магистраль ближе расположена к источнику питания – ИП1, ПС 110/6 кВ «Центральная -3».

Расчетная схема для определения токов КЗ представлена на рисунке 5.

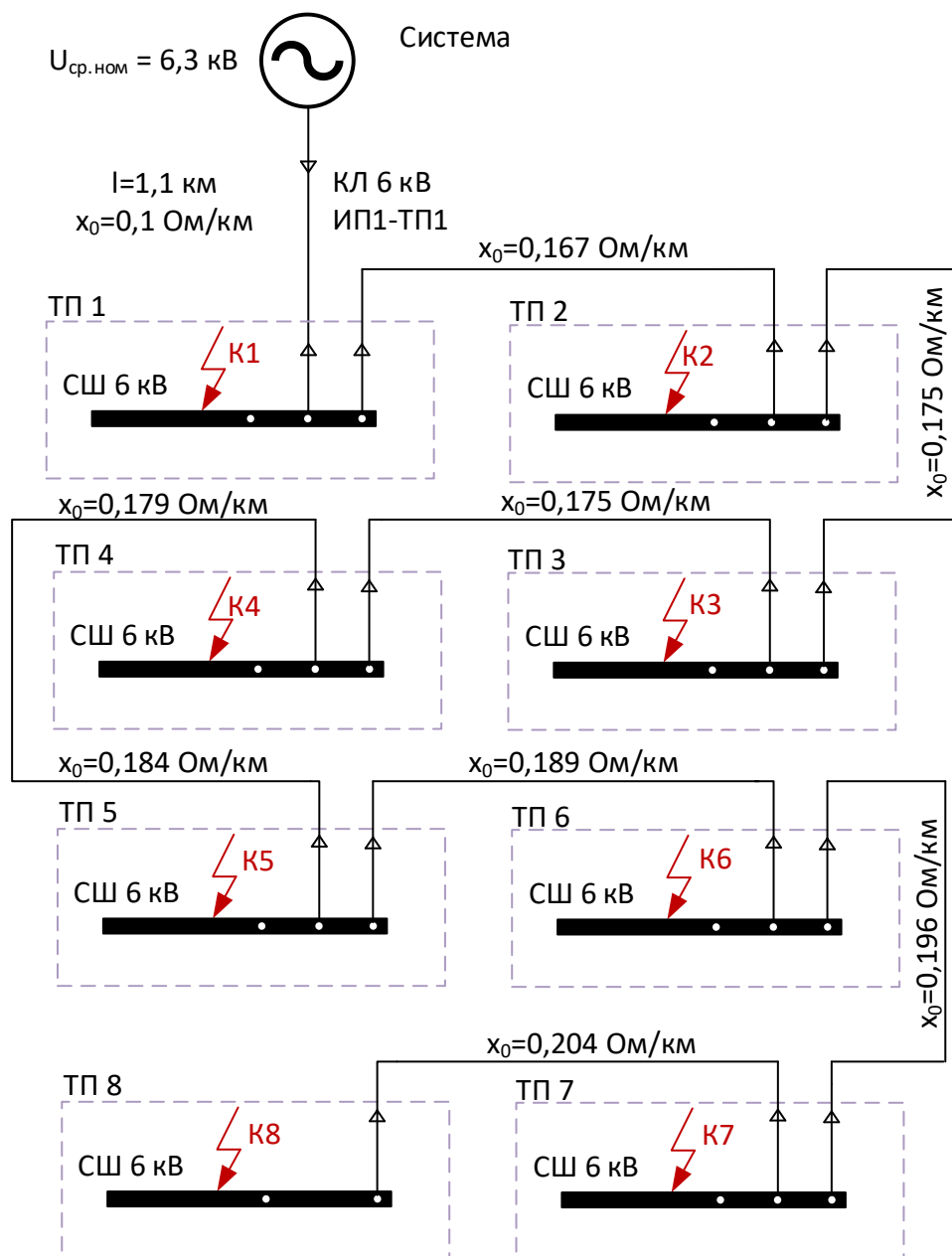


Рисунок 5 - Расчетная схема токов короткого замыкания

По расчетной схеме (рисунок 5) составим схему замещения учитывая, что расчет токов короткого замыкания выполняется в сети с напряжением выше 1000 В, следовательно, учитываем только индуктивные элементы распределительной сети микрорайона №8.

Схема замещения представлена на рисунке 6.

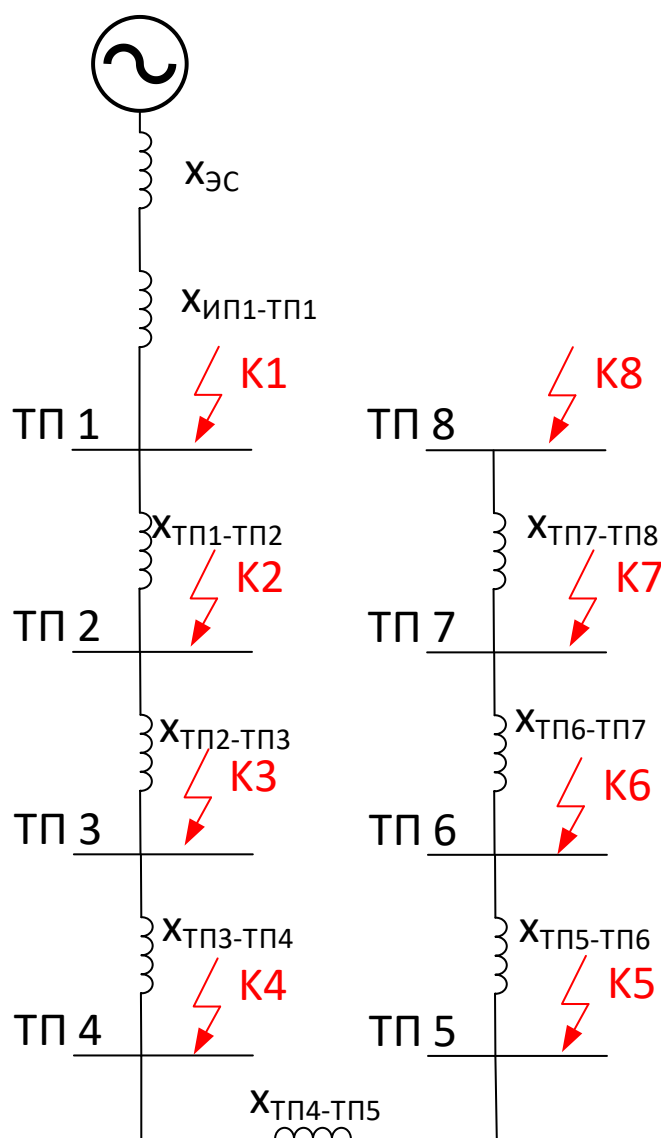


Рисунок 6 - Схема замещения

Для схемы замещения выполним расчет ее параметров.

Так как для шин источника питания задан ток короткого замыкания $I_{кз.эс} = 10,25$ (кА), то определим мощность КЗ от энергосистемы по выражению:

$$S_{\text{КЗ.ЭС}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном.сети}} \cdot I_{\text{КЗ.ЭС}}$$

$$S_{\text{КЗ.ЭС}} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10,25 = 111,847 \text{ (МВА)}$$

Определим сопротивление системы в относительных единицах:

$$x_{\text{ЭС}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{КЗ.ЭС}}} = \frac{1000}{111,847} = 8,94 \text{ (о. е)}$$

Далее необходимо определить сопротивления всех кабельных линий для схемы замещения в относительных единицах. Сопротивление кабельной линии определяется выражением:

$$x_{\text{КЛ.}a-b} = x_{0.a-b} \cdot l_{a-b} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном.сети}}^2} \quad (31)$$

где $x_{0.a-b}$ – удельное индуктивное сопротивление кабельной линии от подстанции a до подстанции b , определено на этапе выбора кабельных линий в таблице 17, Ом/км;

l_{a-b} – длина кабельной линии от подстанции a до подстанции b , определено на этапе выбора кабельных линий в таблице 17, км;

$U_{\text{ср.ном.сети}}$ – средненоминальное напряжение сети, для микрорайона №8 $U_{\text{ср.ном.сети}} = 6,3$, кВ.

Выполним расчет сопротивления кабельной линии от ИП1 до ТП1 по выражению (31):

$$x_{\text{КЛ.ИП1-ТП1}} = 0,167 \cdot 1,1 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 4,628 \text{ (о. е)}$$

Для расчета токов короткого замыкания в относительных единицах определим базисное значение тока по выражению:

$$I_{\text{баз.КЗ}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном.сети}}} \quad (32)$$

Базисный ток для всех расчетных точек по выражению (32):

$$I_{\text{баз.КЗ}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ (кА)} \quad (33)$$

Суммарное сопротивление до точки короткого замыкания:

$$x_{\Sigma.к.і} = x_{\text{ЭС}} + \sum_{i=1}^n x_{\text{КЛ.і}} \quad (34)$$

где $x_{\text{ЭС}}$ – сопротивление системы, о.е;

n - количество кабельных линий до точки короткого замыкания, по схеме замещения (рисунок 6), шт.;

$x_{\text{КЛ.і}}$ - сопротивление i -й линии до точки короткого замыкания, о.е.

Суммарное сопротивление до точки К1 по (34):

$$x_{\Sigma.к.1} = x_{\text{ЭС}} + x_{\text{КЛ.ИП1-ТП1}} = 8,94 + 4,628 = 13,568 \text{ (о.е)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К1:

$$I_{\text{п0.К.1}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.к.1}} \cdot I_{\text{баз.КЗ}} = \frac{1}{13,568} \cdot 91,64 = 6,754 \text{ (кА)}$$

Для системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара необходимо также выполнить расчет двухфазного короткого замыкания для проверки кабельных линий. Двухфазное короткое замыкание определяется по выражению:

$$I_{\text{п0.К.}i}^{(2)} = \frac{3 \cdot I_{\text{баз.К3}} \cdot E''_{*6}}{2 \cdot x_{\Sigma.\text{К.}i}} \quad (35)$$

где $I_{\text{баз.К3}}$ – базисный ток, определенный выражением (32), кА;

E''_{*6} – сверхпереходная ЭДС, принимается $E''_{*6} = 1$;

$x_{\Sigma.\text{К.}i}$ – суммарное сопротивление до i -й точки короткого замыкания, о.е.

Определим для точки К1 величину двухфазного короткого замыкания по выражению (35):

$$I_{\text{п0.К.1}}^{(2)} = \frac{3 \cdot 91,64 \cdot 1}{2 \cdot 13,568} = 10,13 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного короткого замыкания в i -й точке определяется по выражению:

$$i_{\text{уд.К.}i}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0.К.}i}^{(3)} \cdot K_{\text{уд.К.}i} \quad (36)$$

где $K_{\text{уд.К.}i}$ – коэффициент усиления ударного ток. Для распределительных сетей напряжением 6 кВ $K_{\text{уд.К.}i} = 1,8$.

Ударный ток двухфазного короткого замыкания в i -й точке определяется по выражению:

$$i_{\text{уд.К.}i}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0.К.}i}^{(2)} \cdot K_{\text{уд.К.}i} \quad (37)$$

Определим ударные токи трехфазного и двухфазного замыкания по выражениям (36) и (37) для точки К1:

$$i_{\text{уд.К.1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 6,754 \cdot 1,8 = 17,169 \text{ (кА)}$$

$$i_{уд.К.1}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot 10,13 \cdot 1,8 = 25,786 \text{ (кА)}$$

Для всех остальных расчетных точек короткого замыкания, все расчеты выполняются аналогично точке К1, все расчеты сведем в таблицу 19.

Таблица 19 - Результаты расчета токов короткого замыкания

Расчетные значения	Расчетные точки короткого замыкания							
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8
$x_{\Sigma,К.i}$, о.е.	13,57	14,62	15,69	16,86	17,94	15,64	17,08	17,79
$I_{п0.К.i}^{(3)}$, кА	6,75	6,27	5,84	5,44	5,11	5,86	5,37	5,15
$I_{п0.К.i}^{(2)}$, кА	10,13	9,4	8,76	8,15	7,66	8,79	8,05	7,73
$i_{уд.К.i}^{(3)}$, кА	17,19	15,95	14,87	13,84	13	14,91	13,66	13,11
$i_{уд.К.i}^{(2)}$, кА	25,79	23,93	22,3	20,76	19,5	22,37	20,49	19,67

Выполнен расчет токов короткого замыкания на стороне 6 кВ системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара. Полученные значения используются для проверки оборудования и расчета уставок релейной защиты и автоматики.

Выполним проверку выбранных кабельных линий по расчетным значениям токов короткого замыкания. Для этого по [14] определим для выбранных кабельных линий допустимые токи односекундного короткого замыкания ($I_{п1.К.i}^{доп}$). Справочные значения допустимых односекундных токов короткого замыкания необходимо сравнить с расчетными значениями по условию:

$$I_{п0.К.i}^{(2)} \geq I_{п1.К.i}^{доп} \cdot K_t \quad (38)$$

где K_t – коэффициент, учитывающий время отключения короткого замыкания.

$$K_t = \frac{1}{\sqrt{t_{P3A}}} \quad (39)$$

где t_{P3A} – время отключения короткого замыкания с учетом действия релейной защиты и выключателя, $t_{P3A} = 0,525$, с.

Используя данные таблицы 19 выполним проверку на стойкость токам КЗ для линии ТП7-ТП8.

Определим коэффициент, учитывающий время отключения короткого замыкания для линии ТП7-ТП8:

$$K_t = \frac{1}{\sqrt{0,525}} = 1,38$$

По выражению (38) для линии ТП7-ТП8:

$$7,73 \text{ (кА)} = I_{п0.К.1}^{(2)} < I_{п1.К.i}^{\text{доп}} \cdot K_t = 4,7 \cdot 1,38 = 6,08 \text{ (кА)}$$

$$7,73 \text{ (кА)} < 6,08 \text{ (кА)}$$

Кабель для линии ТП7-ТП8 марки АПВВнг(А)-LS3×50 не удовлетворяет условию стойкости токам короткого замыкания. Следовательно, необходимо выбрать кабель большего сечения. Выберем кабель АПВВнг(А)-LS3×70 для которого условие (38):

$$7,73 \text{ (кА)} = I_{п0.К.1}^{(2)} > I_{п1.К.i}^{\text{доп}} \cdot K_t = 6,6 \cdot 1,38 = 9,108 \text{ (кА)}$$

$$7,73 \text{ (кА)} > 6,08 \text{ (кА)}$$

Для кабеля АПВВнг(А)-LS3×70 условие (38) выполняется, следовательно окончательно принимаем этот кабель для распределительной сети.

Для кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена необходимо выбрать сечение экрана кабеля по стойкости к токам короткого замыкания [16] по условию:

$$I_{\text{доп.экр}} \cdot K_t > I_{\text{п0}}^{(2)} \quad (40)$$

где $I_{\text{доп.экр}}$ – допустимый ток для экрана кабеля, определяется по справочным данным [20].

Для кабельной линии ИП1-ТП1 выполненной кабелем АПвВнг(А)-LS3×300 минимально допустимое сечение экрана составляет 25 мм² с допустимым током односекундного короткого замыкания $I_{\text{доп.экр.25}} = 4,8$ кА. Тогда допустимый ток с учетом $K_t = 1,38$ будет 6,624 кА. Для этого значения условие (40) не выполняется поэтому необходимо выбрать экран большего сечения. Примем для кабельной линии ИП1-ТП1 экран кабеля сечением 50 мм². Для данного сечения условие (40) выполняется:

$$\begin{aligned} 9,6 \cdot 1,38 = I_{\text{доп.экр}} \cdot K_t > I_{\text{п0}}^{(2)} &= 10,13 \text{ (кА)} \\ 13,248 \text{ (кА)} > 10,13 \text{ (кА)} \end{aligned}$$

Для всех остальных кабельных линий проверку выполним аналогично, результаты сведем в таблицу 20.

По результатам расчетов представленных в таблице 20 все кабельные линии и экраны кабельных линий удовлетворяют условиям (38) и (40) поэтому кабельные линии могут быть использованы в спроектированной в рамках выполнения выпускной квалификационной работы распределительной сети 6 кВ микрорайона №8 г. Самары.

Таблица 20 - Результаты проверки кабельных линий и экранов кабелей на стойкость к токам короткого замыкания

Марка кабеля	Расчетные значения				Справочные данные			Условие выполняется да/нет	
	$I_{п0.К.i}^{(2)}$, кА	K_t	$I_{доп.экр.расч}$, кА	$I_{п1.К.i.расч}^{доп}$, кА	$S_{экр}$, мм ²	$I_{п1.К.i}^{доп}$, кА	$I_{доп.экр.табл}$, кА	(38)	(40)
АПВВнг(А)-LS3×300/50-10	10,13	1,38	13,248	38,916	50	28,2	9,6	да	да
АПВВнг(А)-LS3×185/50-10	9,4	1,38	13,248	24,15	50	17,5	9,6	да	да
АПВВнг(А)-LS3×185/50-10	8,76	1,38	13,248	24,15	50	17,5	9,6	да	да
АПВВнг(А)-LS3×150/50-10	8,15	1,38	13,248	19,596	50	14,2	9,6	да	да
АПВВнг(А)-LS 3×120/50-10	7,66	1,38	13,248	15,594	50	11,3	9,6	да	да
АПВВнг(А)-LS 3×95/35-10	8,79	1,38	9,246	12,282	35	8,9	6,7	да	да
АПВВнг(А)-LS 3×70/35-10	8,05	1,38	9,246	9,108	35	6,6	6,7	да	да
АПВВнг(А)-LS 3×70/35-10	7,73	1,38	9,246	9,108	35	6,6	6,7	да	да

Выводы по разделу.

В пятом разделе выполнен расчет токов короткого замыкания для распределительной сети микрорайона №8 г. Самара. Для первой магистрали от ИП1 определены токи короткого замыкания на шинах ТП1-ТП8. Для каждой ТП определены токи двухфазного и трехфазного коротких замыканий в начальный момент времени. Также определены ударные токи двухфазного и трехфазного короткого замыканий.

По полученным значениям токов короткого замыкания выполнена проверка кабельных линий на стойкость к двухфазным токам короткого замыкания. По результатам проверки уточнено сечение кабельной линии от ТП7 до ТП8. Принято увеличить сечение кабельной линии и принять к использованию кабель марки АПВВнг(А)-LS 3×70/35-10 с сечением экрана 35 мм², которое также было проверено на стойкость к токам КЗ. В результате проверки все кабельные линии и экраны кабельных линий удовлетворяют условиям стойкости к токам короткого замыкания и могут быть использованы в спроектированной системе электроснабжения микрорайона №8 г. Самара.

Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнен проект системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара. Микрорайон №8 расположен в Железнодорожном внутригородском районе городского округа Самара. Границы микрорайона №8 определяются ул. Пензенской, ул. Тухачевского и ул. Дачной. В микрорайоне №8 расположено 29 жилых домов преимущественно девятиэтажных панельных. В микрорайоне расположено два жилых дома с квартирами повышенной комфортности. Также на территории микрорайона расположены два детских сада и общеобразовательная школа.

Построена планкарта микрорайона №8, на которой отмечены все объекты входящие в микрорайон, а также магистральные автодороги и внутриквартальные проезды. Общая площадь микрорайона составляет 250677 м². Для всех объектов микрорайона №8 определены характеристики необходимые для расчета электрических нагрузок.

Во втором разделе выполнен расчет электрических нагрузок для микрорайона №8. Для всех объектов микрорайона определены расчетные значения активной, реактивной и полной мощностей. Расчетная активная мощность жилых домов микрорайона №8 определялась с учетом расчетной мощности квартир, мощности лифтовых установок и мощности сантехнических установок. Лифтовые и сантехнические установки относятся к силовым потребителям и имеют коэффициенты активной мощности отличные от значений для квартир, поэтому они учитывались определении расчетных значений реактивной и полной мощности жилых домов. Для лифтовых установок использовались справочные значения коэффициента спроса, значение которого определялось по [19] в зависимости от числа этажей в жилом доме и количестве лифтовых установок.

Также для каждого здания определен расчетный ток на вводе. По расчетным значениям активной и реактивной мощности определены

естественные значения коэффициентов активной и реактивной мощностей. Суммарная расчетная активная нагрузка микрорайона №8 по результатам расчета составила $\Sigma P_{\text{расч.}i} = 5860,8$ (кВт), расчетная реактивная нагрузка составила $\Sigma Q_{\text{расч.}i} = 5533,17$ (квар), а полная расчетная мощность потребителей микрорайона №8 г. Самара составила $\Sigma S_{\text{расч.}i} = 8742,3$ (кВА).

В третьем разделе выпускной квалификационной работы определены места размещения и число трансформаторных подстанций. Принято установить в микрорайоне №8 восемь трансформаторных подстанций. При распределении потребителей по подстанциям учитывалась необходимость унификации трансформаторов, а также близость подключаемых к подстанциям потребителей.

Все трансформаторные подстанции выполняются с двумя трансформаторами, так как в каждом объекте присутствуют потребители I и II категорий надежности электроснабжения.

Для установки в ТП приняты трансформаторы марки ТМГ 1000/6/0,4 кВ - трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор».

Все выбранные трансформаторы проверены на соответствие нормируемому коэффициенту загрузки. Для всех ТП микрорайона №8 коэффициент загрузки не превышает 0,7.

Для всех трансформаторных подстанций микрорайона №8 г. Самара определены значения потерь активной и реактивной мощностей. Суммарное значение потерь активной мощности в трансформаторах системы электроснабжения составили $\Delta P_{\text{расч.ТП.}\Sigma} = 66,98$ (кВт), а потери реактивной мощности составили $\Delta Q_{\text{расч.ТП.}\Sigma} = 275,476$ (квар). Расчетные значения потерь соответствуют максимальному расчетному режиму загрузки подстанций. Наибольшее значение потерь активной и реактивной мощности соответствуют подстанции ТП 6 - $\Delta P_{\text{расч.ТП.}6} = 12,16$ (кВт), $\Delta Q_{\text{расч.ТП.}6} = 54,274$ (квар).

Подстанция ТП 6 по результатам расчетов имеет наибольший коэффициент загрузки $K_{\text{заг.расч.ТП.6}} = 0,6887$.

В четвертом разделе выпускной квалификационной работы определена схема распределительной сети системы электроснабжения. Для микрорайона №8 выбрана двухлучевая-петлевая схема распределительной сети. Двухлучевая-петлевая схема имеет высокие показатели надежности электроснабжения потребителей микрорайонов жилой застройки и рекомендуется для применения.

Питания системы электроснабжения микрорайона №8 г. Самара определено от подстанции 110/6 кВ «Центральная-3», которая расположена на расстоянии 800 метров от границы микрорайона №8. Источником №1 для питания первой магистрали распределительной сети является первая секция шин 6 кВ подстанции 110/6 кВ «Центральная-3», а источником 2 является вторая секция шин 6 кВ подстанции 110/6 кВ «Центральная-3».

Для распределительной сети микрорайона №8 г. Самара выполнен расчет перетоков мощности в распределительных линиях магистрали от источников электроснабжения до всех трансформаторных подстанций. Перетоки мощности в распределительной сети выполнены с учетом потерь активной и реактивной мощностей в трансформаторах на каждой ТП.

По результатам расчета перетоков мощности определен расчетный ток и выбраны кабели. Для распределительной сети микрорайона №8 г. Самара выбраны кабели марки АПвВнг(А)-LS – кабель с тремя алюминиевыми жилами (А) с изоляцией из сшитого полиэтилена (Пв), в поливинилхлоридной оболочке пониженной пожарной опасности (Внг), а также с пониженным выделением дыма (LS).

Все кабельные линии распределительной сети проверены по допустимому току перегрузки. Для проверки кабелей был рассчитаны перетоки мощности для послеаварийного (ПАВ) режима – вся нагрузка ТП переведена на один источник (ИП1). По результатам проверки кабелей на ПАВ

режим был выбран кабель большего номинального сечения для линий ИП2-ТП8 и ИП1-ТП1 - АПВВнг(А)-LS3×300.

Итогом выполнения четвертого раздела ВКР выполнена проверка кабелей по допустимым потерям напряжения. Во всех кабельных линиях потерями напряжения не превысили 5%, следовательно, кабели могут быть использованы в проектируемой системе электроснабжения.

По результатам расчета токов короткого замыкания для распределительной сети микрорайона №8 г. Самара от ИП1 определены токи короткого замыкания на шинах (сш.1) для ТП1-ТП8. Для каждой ТП определены токи двухфазного и трехфазного коротких замыканий в начальный момент времени. Также определены ударные токи двухфазного и трехфазного короткого замыканий.

По полученным значениям токов короткого замыкания выполнена проверка кабельных линий на стойкость к двухфазным токам короткого замыкания. По результатам проверки уточнено сечение кабельной линии от ТП7 до ТП8. Принято увеличить сечение кабельной линии и принять к использованию кабель марки АПВВнг(А)-LS 3×70/35-10 с сечением экрана 35 мм², которое также было проверено на стойкость к токам КЗ. В результате проверки все кабельные линии и экраны кабельных линий удовлетворяют условиям стойкости к токам короткого замыкания и могут быть использованы в спроектированной системе электроснабжения микрорайона №8 г. Самара.

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы является спроектированная система электроснабжения микрорайона №8 г. Самара, которая удовлетворяет современным требованиям по надежности электроснабжения потребителей жилых районов городов. В проекте использовано современное отечественное оборудование. Для выбора параметров электротехнического оборудования использованы действующие нормы и правила в части проектирования систем электроснабжения районов города. Цель, поставленная во введении к ВКР достигнута, задачи выполнены.

Список используемой литературы

1. Настольная ГИС с открытым исходным кодом QGIS [Электронный ресурс] // Загрузка QGIS: [сайт]. [2024]. URL: <https://www.qgis.org/ru/site/forusers/download.html> (дата обращения: 09.01.2024).
2. Администрация Железнодорожного внутригородского района городского округа Самара [Электронный ресурс] // Микрорайон №8: [сайт]. [2024]. URL: <http://www.zdsamara.ru/about/upravlyayushchie-mikrorayonomi/877/> (дата обращения: 11.01.2024).
3. Галимова А.А. Критерии выбора коэффициента загрузки силового трансформатора при проектировании подстанций распределительных сетей // Проблемы энергетики, Т. 5, № 6, 2013. С. 66-71.
4. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
5. ГОСТ Р 50762-95. Общественное питания. Классификация предприятий. М.: Госсандарт, 1995. 20 с.
6. Грунин В.К., Ощепков В.А., Осипов Д.С. Основы электроснабжения городов. Омск: Издательство ОмГТУ, 2012. 141 с.
7. Грунин В.К., Рысев П.В., Планков А.А., Прусс С.Ю., Петрова Е.В. Силовое электрооборудование городских распределительных сетей: учебное пособие. Омск: Издательство ОмГТУ, 2014. 156 с.
8. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение // Официальный сайт ООО "Торговый Дом "УНКОМТЕХ". 2023. URL: <https://www.uncomtech.ru/download/419> (дата обращения: 05.04.2024).
9. Карпова Н.А. Электроснабжение городов. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению района города. Учебное пособие. Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2005. 130 с.
10. Кускин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

11. Методические рекомендации для определения категорийности потребителей по надежности электроснабжения // Электроэнергетический Совет Содружества Независимых Государств. Исполнительный Комитет. 2019. URL: <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/RGN-new/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80.pdf> (дата обращения: 30.03.2024).

12. ООО "Тольяттинский Трансформатор". Трансформаторы силовые серии ТМГ // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования ООО "Тольяттинский Трансформатор". 2014. URL: https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf (дата обращения: 05,04.2023).

13. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. М.: Форум, 2020. 416 pp.

14. Официальный сайт ООО "Камский Кабель" // Настольная книга проектировщика. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-35 кВ. 2023. URL: https://www.kamkabel.ru/netcat_files/userfiles/6-35-www.pdf (дата обращения: 10.04.2024).

15. Оценка численности постоянного населения [Электронный ресурс] // Государственная статистика ЕМИСС: [сайт]. [2024]. URL: <https://fedstat.ru/organizations/?expandId=1292836#fpsr1292836> (дата обращения: 12.01.2024).

16. Пастухова И.В., Насановский Л.Г. Особенности расчета электрокабелей высокого напряжения // Информационный вестник, Т. 14, № 3, 2014. С. 9-11.

17. Поиск в 2ГИС [Электронный ресурс] // Подробная карта городов России 2ГИС: [сайт]. [2024]. URL: <https://2gis.ru/samara?m=50.151211%2C53.190544%2F15.75> (дата обращения: 09.01.2024).

18. Правила устройства электроустановок. 7-е-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.

19. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М.: Стандартинформ, 2003. 59 с.

20. Холдинг Кабельный Альянс. Справочная информация по кабельной продукции // АО "Электрокабель" Кальчугинский завод". 2024. URL:

https://elcable.ru/upload/load/c69/83bd0f12_fbfa_11eb_b06f_b026281add29.pdf

(дата обращения: 05.04.2024).

21. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети. М.: Издательский дом "МЭИ", 2012. 286 с.

22. Экспорт данных [Электронный ресурс] // Сообщество OpenStreetMap (OSM): [сайт]. [2024]. URL:

<https://www.openstreetmap.org/export#map=17/53.19119/50.14802> (дата

обращения: 09.01.2024).