

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 жилого квартала многоэтажной застройки

Обучающийся

Н.И. Архипов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Консультант

к.пед.н., доцент, Т.С. Якушева

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

Тольятти 2023

Аннотация

В данной бакалаврской работе рассмотрены вопросы, посвящённые теме «Электроснабжение жилого квартала многоэтажной застройки». Основой для выполнения проектных решений послужил расчёт ожидаемых максимальных значений электрических нагрузок от жилых домов и общественных зданий, располагаемых внутри квартала. Выбраны светильники для использования в системе внутриквартального искусственного освещения и произведен расчёт потребляемой ими мощности.

Выполнен расчёт количества КТП и устанавливаемых на них силовых трансформаторов, необходимых для электроснабжения микрорайона с учетом требований по надежности электроснабжения и выполнены расчеты по определению номинальной реактивной мощности устройств компенсации.

Произведен анализ существующих схем и выбор оптимальной для питающих сетей микрорайона напряжением 10 кВ.

Определены значения токов короткого замыкания с целью проверки выбранных аппаратов защиты и проводников. Определены типы кабелей для использования в сети внутриквартального электроснабжения, произведены расчёты их сечений и выполнена проверка на допустимые потери напряжения до самых удалённых электроприемников.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки, включающей в себя 58 страниц, 7 графических рисунков и 31 таблицу с исходными данными и результатами вычислений. Список используемых источников включает в себя 22 пункта, в том числе 5 работ на английском языке. К пояснительной записке прикладывается 6 чертежей, выполненных на формате А1.

Annotation

In this bachelor's work, questions on the topic "Power supply of a residential area of multi-storey buildings" are considered. The basis for the implementation of design solutions was the calculation of the expected maximum values of electrical loads from residential buildings and public buildings located within the quarter. Luminaires were selected for use in the system of intra-quarter artificial lighting and the calculation of their power consumption was made.

The calculation of the number of package transformer substations and the power transformers installed on them, necessary for the power supply of the microdistrict, taking into account the requirements for the reliability of power supply, was performed, and calculations were made to determine the rated reactive power of compensation devices.

The analysis of existing circuits and the choice of the optimal one for the supply networks of the microdistrict with a voltage of 10 kV were made.

The values of short-circuit currents are determined in order to check the selected protection devices and conductors. The types of cables for use in the intra-quarter power supply network were determined, their cross-sections were calculated, and a check was made for permissible voltage losses to the most remote power receivers.

The final qualifying work consists of an explanatory note, which includes 58 pages, 7 graphic drawings and 31 tables with initial data and calculation results. The list of sources used includes 22 items, including 5 works in English. The explanatory note is accompanied by 6 drawings made in A1 format.

Содержание

Введение.....	5
1 Общая характеристика первого квартала Автозаводского района г. Тольятти	6
2 Определение расчетной нагрузки жилых зданий квартала	7
3 Определение расчетной нагрузки общественных зданий квартала.....	13
4 Определение расчетной нагрузки системы наружного освещения первого квартала	16
5 Расчёт общих нагрузок по жилому кварталу	19
6 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов КТП для электроснабжения жилого квартала.....	21
7 Выбор схемы питающей сети	31
8 Расчеты по определению сечений кабельных линий и защищающих их автоматических выключателей.....	33
9 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения жилого квартала	42
9.1 Расчет токов КЗ в сетях свыше 1000 В	42
9.2 Расчет токов КЗ в сетях до 1000 В	44
9.3 Проверка выбранных автоматических выключателей на электродинамическую устойчивость	50
10 Определение расходов тепловой энергии на нужды квартала.....	52
Заключение	54
Список используемой литературы	56

Введение

«В настоящее время в энергобалансах территорий увеличивается доля непроизводственных мощностей. Это электроэнергия, затрачиваемая на функционирование систем водоснабжения и канализации, общественного электрического транспорта. ЖКХ. В городах значительная часть потребляемой электроэнергии приходится на различные административно-общественные здания: торгово-развлекательные комплексы, предприятия общественного питания, офисные комплексы, учебные заведения, здания различных муниципальных служб» [1] – [4].

Вопросы построения надежной системы электроснабжения города решаются в привязке к плану развития города, необходимо обеспечение надёжного электроснабжения не только городских потребителей, но и промышленных предприятий, располагаемых на территории жилой застройки, общественных и административных зданий с учётом развития городских территорий.

Цель ВКР заключается в создании условий для надежного снабжения электрической энергией жилых многоквартирных домов и общественных зданий жилого квартала.

В ходе выполнения работы должен быть решен ряд задач: определена расчетная нагрузка жилых и общественных зданий квартала; определена расчетная нагрузка системы наружного освещения первого квартала; определена суммарная ожидаемая электрическая нагрузка первого квартала; определены количество и номинальная мощность силовых трансформаторов КТП для электроснабжения жилого квартала; проведен анализ существующих схем и выбор оптимальной для питающих сетей микрорайона напряжением 10 кВ; выполнены расчеты по определению сечений кабельных линий и защищающих их автоматических выключателей; определены токи КЗ; определены расходы тепловой энергии на нужды квартала.

1 Общая характеристика первого квартала Автозаводского района г. Тольятти

Первый квартал расположен в Автозаводском районе города Тольятти, с западной стороны ограничен Московским проспектом, с северной стороны – улицей Свердлова, с восточной стороны – улицей Революционной, с южной стороны – Ленинским проспектом. План первого квартала приведен на рисунке 1.

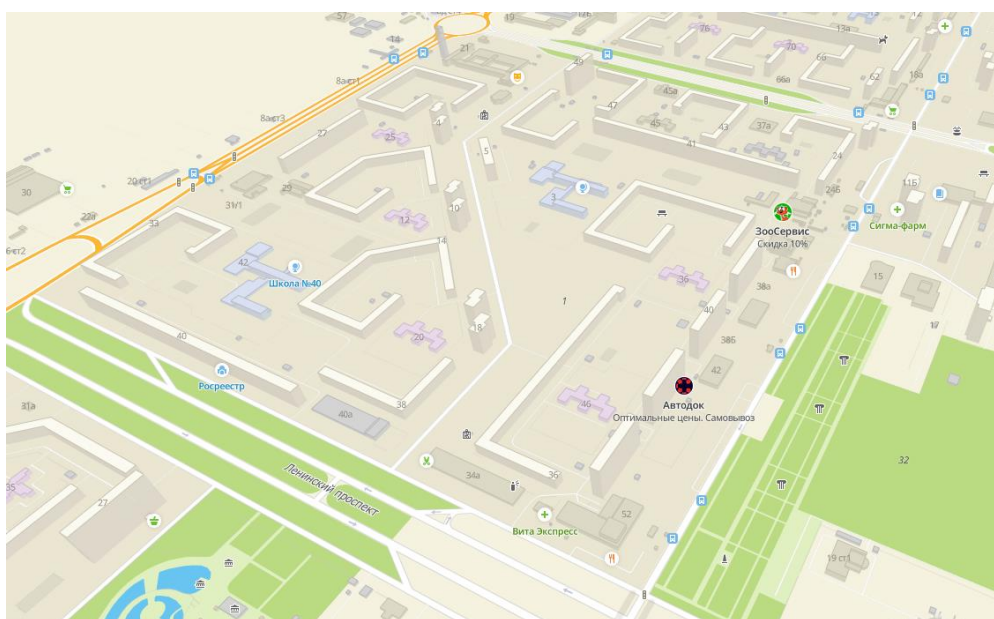


Рисунок 1 - План первого квартала г. Тольятти

К основным потребителям электрической энергии относятся жилые дома переменной этажности и разнообразные общественные здания в состав которых входят общеобразовательные школы, дошкольные учреждения, продовольственные и промтоварные магазины и т.д.

С точки зрения надежности электроснабжения потребителей квартала можно отнести ко второй и третьей категориям надежности с небольшим присутствием первой категории, что требует применения двух независимых источников электрической энергии.

Выводы. Приведена характеристика жилого квартала и основных потребителей электроэнергии располагающихся на его территории.

2 Определение расчетной нагрузки жилых зданий квартала

Для определения расчётных нагрузок жилого многоквартирного дома используем выражение, представленное в справочном пособии [8].

«Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир определяется по формуле» [8]:

$$P_{p.кв.} = p_{уд.кв.} \cdot N_{кв.}, \quad (1)$$

где « $N_{кв.}$ – число квартир, присоединенных к элементу сети;

$p_{уд.кв.}$ – удельная расчетная нагрузка квартиры, определяемая согласно таблице 2.1.1» [1].

Поскольку фактическое число квартир в жилом доме не совпадает с указанным в справочной таблице значением, то недостающие данные получаем методом интерполяции:

$$P_{уд.ж.зд.(N_{кв.})} = P_{уд.ж.зд.(N')} - \frac{P_{уд.ж.зд.(N')} - P_{уд.ж.зд.(N'')}}{N'' - N'} \cdot (N_{кв.} - N'), \quad (2)$$

где « N' -ближайшее меньшее стандартное табличное количество квартир ($N_{кв.}$);

N'' - ближайшее большее стандартное табличное количество квартир ($N_{кв.}$);

$P_{уд.ж.зд.(N')}$ и $P_{уд.ж.зд.(N'')}$ -удельные расчетные нагрузки, таблица 2.1.1» [1].

$$P_{уд.кв.256} = 1,36 - \frac{1,36 - 1,27}{400 - 200} \cdot (256 - 200) = 1,28 \text{ кВт/кв.}$$

$$P_{p.кв.} = 1,28 \cdot 250 = 320 \text{ кВт.}$$

Нагрузка от силовых ЭП по жилому дому определяется путём сложения нагрузки от лифтов и санитарных установок:

$$P_c = P_{p.l.} + P_{ст.у} \quad (3)$$

где « $P_{p.l.}$ – мощность лифтовых установок;

$P_{ст.у}$ – мощность санитарно-технических установок» [8].

«Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок определяется по формуле» [8]:

$$P_{p.l.} = K_c \cdot \sum_1^N P_{p.l.i} = K_c \cdot (P_{л1} \cdot n_{пас} + P_{л2} \cdot n_{гр}), \quad (4)$$

где « K_c -коэффициент спроса лифтовых установок;

N -общее количество лифтовых установок в жилом доме;

$n_{пас}$, $n_{гр}$ - количество пассажирских и грузопассажирских лифтов соответственно» [1];

$$P_{p.l.} = 0,8 \cdot (4,5 \cdot 2 + 7 \cdot 2) = 29 \text{ кВт.}$$

«Расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования» [8]:

$$P_{ст.у} = k_c'' \sum_1^N P'_{ст.у}, \quad (5)$$

где « $k_c''=1$ – коэффициент спроса электродвигателей санитарно-технических устройств, определяемый по таблице 2.1.3» [1];

$$P_{ст.у} = 1 \cdot 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ кВт,}$$

$$P_c = 29 + 9 = 38 \text{ кВт.}$$

«Расчетная активная мощность на вводе жилого дома определяется по формуле» [8]:

$$P_{p.ж.д.} = P_{p.кв.} + k_y \cdot P_c ,$$

где « k_y - коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников» [7].

$$P_{p.ж.д.} = 320 + 0,9 \cdot 38 = 354 \text{ кВт.}$$

Путём суммирования расчётных значений реактивных мощностей по отдельным группам потребителей получаем общее значение реактивной мощности, потребляемой многоквартирным домом:

$$Q_{p.ж.д.} = Q_{кв} + Q_{р.л.} + Q_{ст.у}. \quad (6)$$

При этом реактивная нагрузка жилых квартир может быть определена по формуле:

$$Q_{кв} = P_{кв} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{кв} , \quad (7)$$

где « $\operatorname{tg} \varphi_{кв}=0,2$ по таблице 2.1.4» [1].

$$Q_{кв} = 354 \cdot 0,2 = 64 \text{ квар.}$$

Реактивную составляющую мощности, потребляемую лифтовыми установками находим из выражения:

$$Q_{р.л.} = P_{р.л.} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{л} , \quad (8)$$

где « $\operatorname{tg} \varphi_{л}=1,17$ по таблице 2.1.4» [1].

$$Q_{pl} = 29 \cdot 1,17 = 34 \text{ квар.}$$

Реактивную составляющую мощности, потребляемую санитарно-техническими установками находим из выражения:

$$Q_{см.у} = P_{см.у} \cdot tg \varphi_{см.у}, \quad (9)$$

где « $tg \varphi_{ст.у} = 0,75$ по таблице 2.1.4» [1].

$$Q_{см.у} = 9 \cdot 0,75 = 6,8 \text{ квар.}$$

Общая реактивная нагрузка на вводе в многоквартирный дом будет равна:

$$Q_{р.ж.д.} = 64 + 34 + 6,8 = 104,8 \text{ квар.}$$

Результаты определения расчетной нагрузки на ВРУ жилых домов квартала выполняем по приведенной выше методике, результаты заносим в таблицу 1.

Выводы. В соответствии с установленной в нормативных документах методикой определения расчётных нагрузок на вводе жилых многоквартирных домов, отдельно определены нагрузки по квартирам, а также по силовым электроприемникам, находящимся внутри жилых домов, общее значение нагрузки получено путём суммирования полученных значений.

Таблица 1 – Итоговые данные по расчётной мощности нагрузок потребителей жилых многоквартирных домов

№ до ма	$N_{кв.},$ шт	$P_{уд.кв.},$ кВт / кв	$n_{пас.л.},$ шт	$P_{пас.л.},$ кВт	$n_{гр.л.},$ шт	$P_{гр.л.},$ кВт	$K_{с.л}$	$K_{с.см}$	$P_{р.л.},$ кВт	$n_{см.у}$	$P'_{см.у.},$ кВт	$P_{см.у.},$ кВт	$P_{с.},$ кВт	$tg\varphi_{кв}$	$tg\varphi_{л}$	$tg\varphi_{см.у}$	$P_{р.э.д.},$ кВт	$Q_{р.э.д.},$ квар	$S_{р.э.д.},$ кВА
1	75	1,6	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	138,18	43,85	145
2	75	1,6	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	138,18	43,85	145
3	250	1,28	2	7	2	11	0,8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	0,2	1,17	0,75	354	104,45	369,11
4	377	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	482,69	96,54	492,25
5	250	1,28	2	7	2	11	0,8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	0,2	1,17	0,75	354	104,45	369,11
6	250	1,28	2	7	2	11	0,8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	0,2	1,17	0,75	354	104,45	369,11
7	75	1,6	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	138,18	43,85	144,97
8	450	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	558,00	111,6	569
9	75	1,6	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	138,18	43,85	144,97
10	75	1,6	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	138,18	43,85	144,97
11	200	1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	272	54,4	277,39
12	450	1,24	16	7	-	-	0,4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	0,2	1,17	0,75	606,42	170,77	630
13	360	1,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	463,68	92,74	472,86
14	200	1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	272	54,4	277,39
15	250	1,28	2	7	2	11	0,8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	0,2	1,17	0,75	354	104,45	369,11
16	250	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	320	64,00	326,34
17	450	1,24	16	7	-	-	0,4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	0,2	1,17	0,75	606,42	170,77	630

Продолжение таблицы 1

№ до ма	$N_{кв., шт}$	$P_{уд.кв., кВт / кв}$	$n_{нас.л. шт}$	$P_{нас.л., кВт}$	$n_{гр.л., шт}$	$P_{гр.л., кВт}$	$K_{с.л.}$	$K_{с.см}$	$P_{р.л., кВт}$	$n_{см.у.}$	$P'_{см.у., кВт}$	$P_{см.у., кВт}$	$P_{с., кВт}$	$tg\varphi_{кв}$	$tg\varphi_{л}$	$tg\varphi_{см.у.}$	$P_{р.ж.д., кВт}$	$Q_{р.ж.д., квар}$	$S_{р.ж.д., кВА}$
18	250	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	320	64	326,34
19	150	1,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	214,5	42,9	218,75
20	285	1,32	8	7	-	-	0,5	1	28	2	4,5	9	37	0,2	1,17	0,75	410	114,85	425,78
21	83	1,76	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	163,85	48,99	171
22	450	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	558	111,6	569
23	171	1,4	4	7	-	-	0,7	1	19,6	2	4,5	9	28,6	0,2	1,17	0,75	265,24	77,58	276,36
24	250	1,28	2	7	2	11	0,8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	0,2	1,17	0,75	354	104,45	369,11
25	450	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	558	111,6	569
26	285	1,32	8	7	-	-	0,5	1	28	2	4,5	9	37	0,2	1,17	0,75	410	114,85	425,78
27	470	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	587,5	117,5	599,13
28	75	1,6	2	7	-	-	0,8	1	11,2	2	4,5	9	20,2	0,2	1,17	0,75	138,18	43,85	144,97
Суммарная нагрузка по жилому фонду первого квартала																			9976

3 Определение расчетной нагрузки общественных зданий квартала

Произведем расчет ожидаемых нагрузок для промтоварного магазина.

Расчет ожидаемых электрических нагрузок выполняется с использованием справочных удельных электрических нагрузок [5]:

$$P_{p.} = P_{уд.общ.} \cdot n, \quad (10)$$

где « $P_{уд.общ.}$ – удельная расчетная нагрузка единицы количественного показателя, определяемая по таблице 2.2.1;

n – количественный показатель, характеризующий пропускную способность предприятия, объем производства и т.д.» [5].

$$P_{p.} = 0,16 \cdot 4000 = 640 \text{ кВт.}$$

Определим реактивную нагрузку на вводе в здание по формуле [5]:

$$Q_{p.непрод.м.} = P_{p.непрод.м.} \cdot \operatorname{tg}\phi, \quad (11)$$

где « $\operatorname{tg}\phi$ -расчетный коэффициент реактивной мощности, определяемый по таблице 2.2.1» [2],

$$Q_{p.непрод.м.} = 640 \cdot 0,48 = 307 \text{ квар.}$$

После определения значений активной и реактивной расчётной нагрузки находим полную мощность путём извлечения квадратного корня из суммы квадратов найденных мощностей:

$$S_{p.непрод.м.} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (12)$$

$$S_{p.непрод.м.} = \sqrt{640^2 + 307^2} = 710 \text{ кВА.}$$

Для остальных общественных зданий и прочих организаций определение расчётной нагрузки производим по представленной выше методике, а полученные результаты вычисления активной реактивной и полной расчётной мощности сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок на вводе общественных зданий

Категория зданий или учреждений	n	$P_{уд}$	P_p кВт	$tg\varphi_{кв}$	Q_p квар	S_p кВА
Дошкольные образовательные учреждения	350	0,46	161	0,25	40,25	165,96
Магазины непродовольственных товаров	1080	0,16	172,8	0,48	82,94	191,68
Дошкольные образовательные учреждения	350	0,46	161	0,25	40,25	165,96
Спортмагазин	1080	0,16	172,8	0,48	82,94	191,68
Предприятие по предоставлению услуг населению	2000	0,16	320	0,48	153,6	354,95
Продовольственные магазины	200	0,25	50	0,75	37,5	62,5
Столовые, кафе и рестораны	100	1,04	104	0,2	20,8	106,06
Банковские учреждения	300	0,054	16,2	0,57	9,23	18,65
Предприятие ЖКХ	1000	0,043	43	0,48	20,64	47,7
Гостиничный комплекс	20	0,34	6,8	0,48	3,26	7
Магазин самообслуживания	250	0,25	62,5	0,75	46,88	78
Дошкольные образовательные учреждения	350	0,46	161	0,25	40,25	165,96
Паркинг	2000	0,043	86	0,48	41,28	95,39
Общеобразовательное учреждение	1500	0,25	375	0,38	142,5	401,16
Аптечный пункт	50	0,16	8	0,48	3,84	8,87
Гостиничный комплекс	20	0,34	6,8	0,48	3,26	7,54

Продолжение таблицы 2

Сокращенное наименование общественного здания	n	$P_{уд}$	P_p кВт	$tg \varphi_{кв}$	Q_p квар	S_p кВА
Высшее учебное заведение	1200	0,46	276	0,75	103,5	294,77
Столовые, кафе и рестораны	20	1,04	20,8	0,2	4,16	21,21
Рыночный комплекс	500	0,23	115	0,7	80,5	140,38
Общеобразовательное учреждение	1500	0,25	375	0,38	142,5	401,16
Магазины непродовольственных товаров	150	0,25	37,5	0,75	28,13	46,88
Спортмагазин	250	0,16	40	0,48	19,2	44,37
Больница	1250	0,054	67,5	0,57	38,48	77,7
Высшее учебное заведение	1200	0,46	276	0,75	103,5	294,77
Продовольственные магазины	500	0,25	125	0,75	93,75	156,25
Столовые, кафе и рестораны	150	1,04	156	0,2	31,2	159,09
Аптечный пункт	100	0,16	16	0,48	7,68	17,75
Магазин самообслуживания	4000	0,16	640	0,48	307,2	709,91

Выводы.

На основе справочных данных об удельных нагрузках для различных категорий общественных зданий, располагаемых внутри жилого квартала произведено определение нагрузок на их водах. Получены расчётные значения активной и реактивной мощностей для всех общественных зданий и сооружений, располагаемых внутри квартала.

4 Определение расчетной нагрузки системы наружного освещения первого квартала

Излучение представляет собой поток материальных частиц - фотонов, которые обладают конечной массой и скоростью в безвоздушном пространстве $3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Масса покоя энергии излучения равна нулю. «Излучение принято характеризовать длиной волны, под которой понимается расстояние, пройденное излучением за время полного периода колебаний» [1].

Длина волны излучения λ и частота электромагнитных колебаний ϑ связаны между собой скоростью света:

$$\lambda = \frac{c}{\vartheta},$$

где λ — длина волны, м (длины волн оптического излучения измеряются в нанометрах, $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$);

c — скорость света, равная $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Область оптических излучений состоит из области ультрафиолетового излучения (длина волн находится в пределах от 10 до 380 нм), области видимого излучения (от 380 до 770 нм) и области инфракрасного излучения (от 770 до 10^5 нм).

Определим расчетную мощность светильников уличного освещения проезжей части:

$$P_{p.ул.o.} = \sum_{i=1}^{n_i} P_{уд.ул.o.i} \cdot L_{ул.i}, \quad (13)$$

где « $P_{уд.ул.o.i}$ - удельная расчетная нагрузка уличного освещения;

$L_{ул.i}$ - длина улицы категории i » [4];

$$P_{p.ул.о} = 25 \cdot 1 \cdot 4 + 10 \cdot 1 = 110 \text{ кВт.}$$

Определим расчетную мощность светильников внутриквартального освещения:

$$P_{p.вк.} = P_{уд.вк.} \cdot F_{мкр.}, \quad (14)$$

где « $P_{уд.вк.}$ - удельная расчетная нагрузка внутриквартального освещения;
 $F_{мкр.}$ - общая площадь внутриквартальной территории микрорайона»
 [7].

$$P_{p.вк.} = 1,2 \cdot 100 = 120 \text{ кВт.}$$

Суммарная активная расчетная мощность системы наружного освещения [9]:

$$P_{p.о.мкр.} = P_{p.ул.о.} + P_{p.вк.}, \quad (15)$$

$$P_{p.о.мкр.} = 110 + 120 = 230 \text{ кВт.}$$

В светильниках применяем лампы ДНАТ с номинальным $\cos \varphi = 0,85$.

Суммарная реактивная расчетная мощность системы наружного освещения:

$$Q_{p.о.мкр.} = P_{p.ул.о.} \cdot \operatorname{tg} \varphi + P_{p.вк.о.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (16)$$

$$Q_{p.о.мкр.} = 110 \cdot 0,62 + 120 \cdot 0,62 = 143 \text{ квар.}$$

Суммарная полная расчетная мощность системы наружного освещения находится из выражения:

$$S_{p.o.mkr.} = \sqrt{P_{p.o.mkr.}^2 + Q_{p.o.mkr.}^2}, \quad (17)$$

$$S_{p.o.mkr.} = \sqrt{230^2 + 143^2} = 271 \text{ кВА.}$$

Выводы по разделу: для системы наружного освещения жилого квартала выбираем светильники ЖКУ и ЖТУ с натриевыми лампами номинальной мощностью 250 или 400 Вт.

Данный тип ламп зарекомендовал свою высокую надёжность и отличные светотехнические характеристики. Расчет освещения произведен по методу удельных мощностей в зависимости от освещаемой территории и удельной мощности системы внутриквартального освещения. Расчет освещения магистральных улиц, располагаемых по периметру квартала производился также в зависимости от протяженности улиц и норму удельной нагрузки на данный тип освещения. Общая нагрузка от системы уличного наружного освещения равняется 271 кВА.

5 Расчёт общих нагрузок по жилому кварталу

«Определим расчетную активную нагрузку потребителей на шинах 0,4 кВ КТП по формуле» [1], [5], [8]:

$$P_{p.мкр.} = P_{p.нб.} + \sum_1^n P_{p.i} \cdot K_{y.i} , \quad (18)$$

где « $P_{p.нб.}$ - наибольшее значение расчетной активной мощности одной из групп однородных потребителей;

$P_{p.i}$ - расчетная активная нагрузка остальных групп потребителей» [5];

$$P_{p.мкр.} = 7778,97 \text{ кВт},$$

«Определим расчетную реактивную нагрузку на шинах 0,4 кВ КТП определяются по выражению» [1]:

$$Q_{p.мкр.} = P_{p.зд.нб.} \cdot tg\varphi_{зд.нб.} + \sum_1^n P_{p.i} \cdot tg\varphi_{зд.i} \cdot K_{y.i} , \quad (19)$$

где « $K_{y.i}$ – коэффициент участия в максимуме нагрузки относительно выбранной наибольшей нагрузки, определяемый по справочной таблице 2.3.1;

$tg\varphi_{зд.нб.}$ – расчетный коэффициент реактивной мощности, соответствующий группе потребителей с наибольшей активной нагрузкой;

$tg\varphi_{зд.i}$ – расчетный коэффициент реактивной мощности, соответствующий остальным группам потребителей» [10].

$$Q_{p.мкр.} = 2577,29 \text{ квар.}$$

«Определим расчетную полную нагрузку на шинах 0,4 кВ КТП определяются по выражению» [1]:

$$S_{p.мкр.} = \sqrt{P_{p.мкр.}^2 + Q_{p.мкр.}^2}, \quad (20)$$

$$S_{p.мкр.} = \sqrt{7778,97^2 + 2577,29^2} = 8194,80 \text{ кВА.}$$

Выводы.

В результате выполненных расчётов получены значения активной реактивной и полной мощностей жилого квартала с учётом всех располагаемых в нём потребителей: $P_{p.мкр.} = 7778,97$ кВт, $Q_{p.мкр.} = 2577,29$ квар, $S_{p.мкр.} = 8194$ кВА. В показатели суммарной нагрузки входит как нагрузка от жилых многоквартирных домов, так и общественных зданий, общеобразовательных учреждений, учреждений дошкольного образования и прочих общественных зданий, располагаемых на территории жилого квартала. Полученные данные будут использованы при выборе номинальной мощности и количества трансформаторов на трансформаторных подстанциях, размещаемых на территории жилого квартала.

6 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов КТП для электроснабжения жилого квартала

«Для трансформаторов класса напряжения 6-10 кВ, значение единичной номинальной мощности предварительно определяется с учетом рекомендаций по удельной плотности нагрузки цеха, корпуса, микрорайона города.

Максимальная мощность цеховых трансформаторов 2500 (3150) кВА включительно; в городских сетях применяются трансформаторы мощностью до 630 кВА. При большой плотности нагрузки могут быть применены трансформаторы мощностью 1000 кВА и более» [3]. Данные о целесообразной номинальной мощности СТ в зависимости от плотности нагрузки приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Справочные данные о рекомендуемой номинальной полной мощности силовых трансформаторов питающих городскую застройку в зависимости от различных показателей плотности нагрузки

«Плотность нагрузки» [3], кВА/м ²	Единичная мощность трансформатора, кВА	Плотность нагрузки, МВт/км ²	Единичная мощность трансформатора, кВА
Промышленные предприятия		Город, микрорайон города	
До 0,2	1000, 1600	0,8 - 1,0	160
0,2 - 0,5	1600	1,0 - 2,0	250
Более 0,5	1600, 2500	2,0 - 5,0	400
		5,0 - 8,0	630

Удельная мощность на единицу площади для первого квартала может быть найдена по формуле [14]

$$\sigma = \frac{S_{p.мк.р.}}{F_{мк.р.}}, \quad (21)$$

где « $S_{p.мк.р.}$ » - расчетное значение полной нагрузки микрорайона;

$F_{мк.р.}=1$ – площадь микрорайона» [14].

$$\sigma = \frac{8195}{1} = 8195 \text{ кВА/км}^2.$$

$$S_{тр.эк.} = 1.45 \cdot \sqrt[3]{\sigma^2}, \quad (22)$$

$$S_{тр.эк.} = 1,45 \cdot \sqrt[3]{8195^2} = 590 \text{ кВА.}$$

Выбираем силовые трансформаторы с номинальной мощностью равной 630 кВА. Потребители квартала относятся ко II категории по надежности электроснабжения, а лифтовые установки в домах на 144 квартиры - к I категории, поэтому все КТП будут двухтрансформаторными.

Найдем число комплектных трансформаторных подстанций [11]:

$$n_{тп} = \frac{S_{р.мк.р.}}{K_3 \cdot S_{тп.эк.}}, \quad (23)$$

где « K_3 - коэффициент загрузки трансформаторов ТП в нормальном режиме» [1],

$$n_{тп} = \frac{8194,80}{0,6 \cdot 2 \cdot 630} = 12,7.$$

Исходя из установленной производителями силовых трансформаторов максимальной длительной перегрузки, выбираем коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме равным 0,6.

Всего внутри жилого квартала устанавливаем 13 КТП с двумя трансформаторами в каждой.

Распределяем жилые дома и общественные здания по подстанциям опираясь на их расчетную мощность и расположение на территории квартала, результаты распределения сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты распределения жилых и общественных зданий квартала по КТП

№ ТП	Жилые и общественные здания первого квартала	$S_{ном.}$ кВА
1	1, 2, 25, Дошкольное образовательное учреждение	630
2	26, Магазин самообслуживания, Предприятие ЖКХ	630
3	7, 27, 28, Рыночный комплекс, Магазины непродовольственных товаров	630
4	8, 9, 10, Дошкольное образовательное учреждение	630
5	11, 12, Паркинг	630
6	12, 13, Общеобразовательное учреждение	630
7	14, 15, 16, Аптечный пункт, Гостиничный комплекс	630
8	17, 18, Магазины непродовольственных товаров, Спортмагазин, Больница, Высшее учебное заведение	630
9	17, 19, 20 ,21, Магазины непродовольственных товаров, Столовые, кафе и рестораны – 3 шт, Аптечный пункт, Высшее учебное заведение	1000
10	22, 23, Общеобразовательное учреждение, Магазин самообслуживания, Магазины непродовольственных товаров	1000
11	3, 24, Столовые, кафе и рестораны, Банк, Дошкольные образовательные учреждения, Магазин самообслуживания	630
12	4, Дошкольные образовательные учреждения, Магазины непродовольственных товаров	630
13	5, 6, Предприятие по предоставлению услуг населению	630

В качестве примера приведем расчет ожидаемых нагрузок для ТП1.

Определим значение расчетной нагрузки:

$$P_{p.TП-1} = 558 + 138,18 + 138,18 + 161 \cdot 0,4 + 11 = 910 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.TП-1} = 111,6 + 43,85 + 43,85 + 40,25 \cdot 0,4 + 6,82 = 222 \text{ квар}.$$

Полная мощность нагрузки ТП:

$$S_{p.mn1} = \sqrt{910^2 + 222^2} = 937 \text{ кВА}.$$

Найдем коэффициент загрузки силовых трансформаторов КТП в нормальном режиме работы и при включении всех трансформаторов по максимальному расчётному значению полной мощности [12]:

$$K_3^H = \frac{S_p}{S_{н.тр} \cdot n_{тр}}, \quad (24)$$

где « $S_{н.тр}$ » - номинальная мощность трансформатора;

$n_{тр}$ » - количество трансформаторов в ТП» [6].

$$K_3^H = \frac{937}{630 \cdot 2} = 0,74,$$

Найдем коэффициент загрузки силовых трансформаторов КТП в послеаварийном режиме по формуле

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{н.тр} \cdot (n_{тр} - 1)}, \quad (25)$$

$$K_3^{n.ав} = \frac{937}{630 \cdot (2 - 1)} = 1,48.$$

Полученное значение коэффициента не должно превышать нормативно установленного:

$$K_{\text{доп.пер.}} \geq K_3^{n.ав}, \quad (26)$$

где « $K_{\text{доп.пер.}}$ » - допустимый коэффициент перегрузки трансформатора» [6].

$$1,5 \geq 1,48 .$$

Для остальных КТП проверку выбранных трансформаторов производим по той же методике, а полученные результаты расчетов сводим в таблицы 5-17.

Таблица 5 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №1

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
1	138,2	43,9	145	-	-
2	138,2	43,9	145	-	-
25	558	111,6	569	-	-
Дошкольное образовательное учреждение	161	40,3	166	-	-
Система наружного освещения квартала	11	6,8	12,9	-	-
Σ	910	222	937	0,74	1,48

Таблица 6 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №2

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
Магазин самообслуживания	312,5	234,4	390,6	-	-
Предприятие ЖКХ	43	20,6	47,7	-	-
Система наружного освещения квартала	11	6,8	12,9	-	-
Σ	638,6	276,7	696	0,55	1,1

Таблица 7 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №3

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
7	587,5	117,5	599,1	-	-
27	138,2	43,9	145	-	-
28	138,2	43,9	145	-	-
Гостиничный комплекс	6,8	3,3	7	-	-
Магазины непродовольственных товаров	62,5	46,9	78	-	-
Система наружного освещения квартала	9	5,6	10,6	-	-
Σ	915,1	241,2	946,4	0,75	1,5

Таблица 8 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №4

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
8	558	111,6	569,1	-	-
9	138,2	43,9	145	-	-
10	138,2	43,9	145	-	-
Дошкольное образовательное учреждение	161	40,3	166	-	-
Система наружного освещения квартала	9,3	5,8	11	-	-
Σ	908,1	221,2	934,6	0,74	1,48

Таблица 9 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №5

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
11	272	54,4	277,4	-	-
12	303,2	85,4	315	-	-
Паркинг	86	41,3	95,4	-	-

Продолжение таблицы 9

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
Система наружного освещения квартала	10	6,2	11,8	-	-
Σ	636,8	170,8	659,3	0,52	1,04

Таблица 10 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №6

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
13	463,7	92,7	472,9	-	-
Общеобразовательное учреждение	375	142,5	401,2	-	-
12	303,2	85,4	315	-	-
Система наружного освещения квартала	11,7	7,3	13,8	-	-
Σ	928,6	242,4	959,7	0,76	1,5

Таблица 11 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №7

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
14	272	54,4	277,4	-	-
15	354	104,5	369,1	-	-
Аптечный пункт	8	3,8	8,9	-	-
Гостиничный комплекс	6,8	3,3	7,5	-	-
16	320	64	326,3	-	-
Система наружного освещения квартала	9	5,6	10,6	-	-
Σ	964,6	233	992,3	0,79	1,5

Таблица 12 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №8

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
17	303,2	85,4	315		

Продолжение таблицы 12

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.a6}$
Магазины непродовольственных товаров	37,5	28,1	46,9	-	-
Спортмагазин	40	19,2	44,4	-	-
18	320	64	326,3	-	-
Больница	67,5	38,5	77,7	-	-
Высшее учебное заведение	276	103,5	294,8	-	-
Система наружного освещения квартала	8,9	5,5	10,4	-	-
Σ	843,7	257,2	882,1	0,7	1,4

Таблица 13 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №9

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.a6}$
17	303,2	85,4	315	-	-
19	214,5	42,9	218,8	-	-
Магазины непродовольственных товаров	125	93,8	156,3	-	-
Столовые, кафе и рестораны	156	31,2	159,1	-	-
20	410	114,9	425,8	-	-
Аптечный пункт	16	7,7	17,8	-	-
Высшее учебное заведение	276	103,5	294,8	-	-
21	163,6	49	171	-	-
Столовые, кафе и рестораны	115	80,5	140,4	-	-
Система наружного освещения квартала	8,5	5,3	10	-	-
Σ	1512,8	491,5	1590,6	0,8	1,5

Таблица 14 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №10

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.a6}$
Общеобразовательное учреждение	375	142,5	401,2	-	-
22	558	111,6	569,1	-	-
Магазин самообслуживания	640	307,2	709,9	-	-
23	265,2	77,6	276,4	-	-
Магазины непродовольственных товаров	50	37,5	62,5	-	-
Система наружного освещения квартала	18	11,2	21,2	-	-
Σ	1415,2	471,7	1491,8	0,75	1,49

Таблица 15 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №11

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.a6}$
Столовые, кафе и рестораны	104	20,8	106,1	-	-
Банк	16,2	9,2	18,7	-	-
24	354	104,5	369,1	-	-
Дошкольные образовательные учреждения	161	40,3	166	-	-
Магазин самообслуживания	172,8	82,9	191,7	-	-
3	354	104,5	369,1	-	-
Система наружного освещения квартала	10	6,2	11,8	-	-
Σ	968,6	301,1	1014,4	0,81	1,5

Таблица 16 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №12

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
Дошкольные образовательные учреждения	161	40,3	166	-	-
Магазины непродовольственных товаров	172,8	82,9	191,7	-	-
4	482,7	96,5	492,3	-	-
Система наружного освещения квартала	10	6,2	11,8	-	-
Σ	660,8	168,6	681,9	0,54	1,08

Таблица 17 – Результаты расчета ожидаемых нагрузок по подстанции №13

Жилые и общественные здания первого квартала	P_p	Q_p	S_p	K_3^H	$K_3^{n.ав}$
5	354	104,5	369,1	-	-
6	354	104,5	369,1	-	-
Предприятие по предоставлению услуг населению	320	153,6	355	-	-
Система наружного освещения квартала	10	6,2	11,8	-	-
Σ	910	307,3	960,5	0,76	1,5

Выводы. По величине удельной плотности нагрузки была выбрана оптимальная мощность силовых трансформаторов для установки на городских трансформаторных подстанциях, которая составила 630 кВА. По результатам расчёта и величине суммарной нагрузки жилого квартала были выбраны 13 двухтрансформаторных подстанций, которые были нанесены на план микрорайона и по которым с максимальной равномерностью была распределена нагрузка жилого фонда и общественных зданий. Для каждой трансформаторной подстанции был определён фактический коэффициент загрузки установленных на ней силовых трансформаторов.

7 Выбор схемы питающей сети

«Для электроснабжения электроприемников первой категории используются следующие схемы:

- радиальная;
- двухлучевая с односторонним питанием;
- двухлучевая с двухсторонним питанием;
- трехлучевая с двухсторонним питанием.

Во всех вариантах исполнения сети электроснабжение потребителей не прекращается при повреждениях на линии 6-10 кВ или в трансформаторе, так как в схеме предусматривается АВР на секционном выключателе РП 6-10 кВ и на стороне 0,4 кВ ТП. Схемы с АВР принято называть автоматизированными схемами.

Для электроснабжения ЭП второй категории применяются петлевые схемы питания, при этом на подстанции устанавливается, как правило, один трансформатор. Допускается применение двухлучевых и других автоматизированных схем, рекомендованных для электроприемников первой категории, если их применение не приводит к увеличению стоимости на сооружение сети» [5].

Для питания смешанные нагрузки, в состав которой входят электроприёмники 1 и 2 категории возможно применение комбинации петлевой и лучевых схем, пример которой приведен на рисунке 2.

Для распределительной сети микрорайонов с преобладанием электроприемников, относящихся к третьей категории по надежности рекомендуется использование петлевых схем [13].

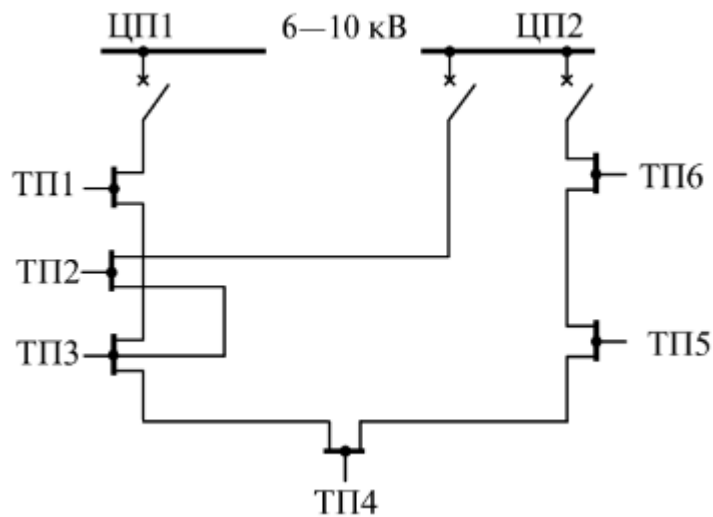


Рисунок 2 - Комбинация петлевой и однолучевой схемы питания подстанций микрорайона

Выводы по разделу. Для питающей сети напряжением 10 кВ первого квартала по совокупности характеристик принимаем двухлучевую схему с наличием двухстороннего питания, которая позволяет снабжать электрической энергией потребителей, относящихся к любой из трех категорий по надежности электроснабжения. Пример выполнения такой схемы приведен на рисунке 3. Схема выполняется кабельными линиями.

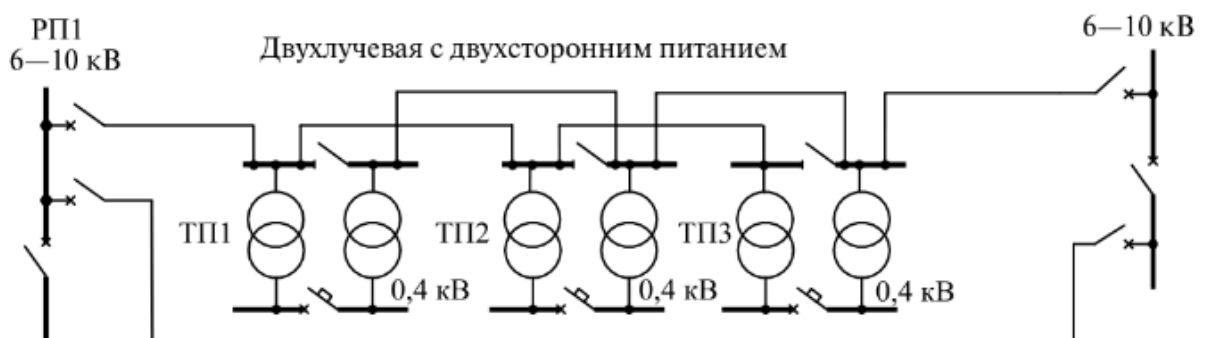


Рисунок 3 – Двухлучевая схема электроснабжения

8 Расчеты по определению сечений кабельных линий и защищающих их автоматических выключателей

В распределительном пункте напряжением 10 кВ устанавливаем камеры сборные одностороннего обслуживания КСО-298М-1000, которые производит предприятие «Электрощит».

Внешний вид и компоненты КСО-298М-1000 приведен на рисунке 4.

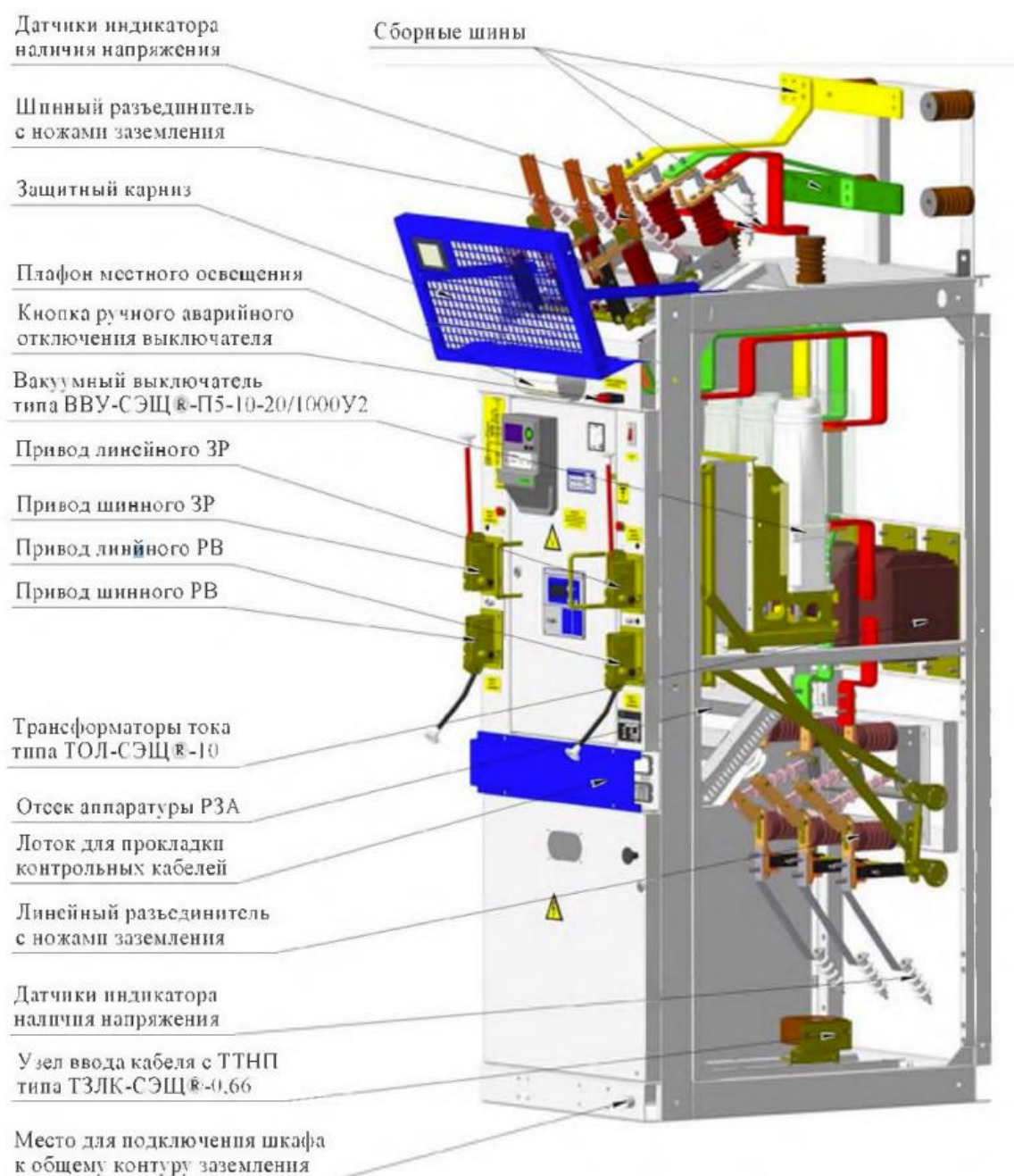


Рисунок 4 - Внешний вид и компоненты КСО-298М-1000

На внутриквартальных КТП размещаем трансформаторы марки ТМГ, которые производит ООО «Тольяттинский трансформатор», устанавливаем выключатели нагрузки ВМП-10, высоковольтные разъединители РВ-10, автоматические выключатели ВА-СЭЩ, измерительные трансформаторы тока ТШЛ-0,66 [16], [17].

«Кабели нашли широкое применение в сетях напряжением 6-10 кВ. В зависимости от способа прокладки силового кабеля, свойств окружающей его среды, механических усилий, которым подвергается кабель, рекомендуются к применению различные марки кабелей» [8].

Условия выбора силовых кабелей на номинальное напряжение свыше 1 кВ:

- номинальное напряжение в месте размещения [15]:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (27)$$

- конструктивное исполнение кабеля;
- ограничение по токовой нагрузке из-за предельного допустимого нагрева токами продолжительного и аварийного режимов:

$$I_p \leq I_{дон}; \quad I_{max} \leq I_{дон}, \quad (28)$$

где $I_{дон}$ - длительно допустимое значение ток в кабеле с поправкой на коэффициенты, связанные с количеством одновременно проложенных кабелей K_1 и температуру в месте прокладки K_2 :

$$I_{дон} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{дон.ном}. \quad (29)$$

Для определения требуемого сечения жилы кабеля от подстанции до ВРУ потребителя определи расчетный ток по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, A, \quad (30)$$

где « S_p -полная расчетная мощность на участке сети в нормальном режиме, кВА;

U_H - номинальное напряжение сети, $U_H=0,38$ кВ» [7].

Выбираем сечение кабеля от трансформаторной подстанции к общеобразовательному учебному заведению. Значение расчетной нагрузки при осуществлении передачи электрической энергии по 2м кабелям:

$$S_p^n = \frac{S_p}{2}, \quad (31)$$

где « $S_{p.обр.шк}$ -полная расчетная мощность образовательной школы» [4].

$$S_{p.обр.шк}^n = \frac{401,2}{2} = 200,6 \text{ кВА.}$$

При этом расчетный ток будет равен

$$I_p^n = \frac{200,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 300 \text{ A.}$$

Выбираем 2 кабельных линии марки ААБЛУ, которые прокладываются в земле. Условие выбора стандартного сечения кабельной линии [19]:

$$I_{доп} \geq I_p^n, \quad (32)$$

где « $I_{доп}$ - длительно допустимый ток кабеля, определяемый по таблице 1.3.16» [2].

Для обеспечения защиты кабелей от превышения токовых нагрузок размещаем на внутриквартальных трансформаторных подстанциях

автоматические выключатели, производимые предприятием «Электроцит» ВА-СЭЦ-TD100, TD160, TS250 и TS400. Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей заносим в таблицы 18 – 30.

Таблица 18 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП1

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц. АВ}, A$
1	110,3	4×25	115	160
2	110,3	4×25	115	160
25	216,4	4× 95 4× 95	240 240	250
Дошкольное образовательное учреждение	126,2	4× 35	135	160
Итого по ТП	712,3	-	-	-

Таблица 19 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП2

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц. АВ}, A$
Магазин самообслуживания	297,1	4х 150	305	300
Предприятие ЖКХ	36,3	-	-	40
4	323,8	4х 185	345	400
Итого по ТП	529,4	-	-	-

Таблица 20 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП3

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
7	110,3	4× 25	115	125
27	227,8	4× 95	240	250
		4× 95	240	
28	110,3	4× 25	115	125
Гостиничный комплекс	64,7		-	80
Итого по ТП	719,8	-	-	-

Таблица 21 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП4

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
8	216,4	4× 95	240	250
		4× 95	240	
9	110,3	4× 25	115	125
10	110,3	4× 25	115	125
Дошкольное образовательное учреждение	126,2	4× 35	135	160
Итого по ТП	710,9	-	-	-

Таблица 22 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП5

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
11	211	4× 95	240	250
12	239,6	4× 95	240	250
Паркинг	72,6	4× 16	90	80
Итого по ТП	501,5	-	-	-

Таблица 23 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП6

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
13	179,8	4× 70 4× 70	200 200	200
Общеобразовательное учреждение	300	4× 150	305	400
12	239,6	4× 95	240	250
Итого по ТП	729,9	-	-	-

Таблица 24 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП7

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
14	211	4× 95	240	250
15	293,2	4× 150	305	300
16	248,2	4× 120	270	250
Итого по ТП	754,7			

Таблица 25 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП8

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
17	309	4× 185	345	400
18	248,2	4× 120	270	250
Больница	59,1	4× 10	65	63
Высшее учебное заведение	224,2	4× 95	240	250
Итого по ТП	670,9	-	-	-

Таблица 26 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП9

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
17	239,6	4× 95	240	250
19	166,4	4× 70	200	200
Магазины непродовольственных товаров	118,8	4× 35	135	125
Столовые, кафе и рестораны	121	4× 35	135	125
20	337,3	4× 185	345	400
Высшее учебное заведение	224,2	4× 95	240	250
21	146,2	4× 50	165	160
Предприятие торговли	106,8	4× 25	115	125
Итого по ТП	1209,8	-	-	-

Таблица 27 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП10

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
Общеобразовательное учреждение	300	4× 150	305	400
22	216,4	4× 95	240	250
		4× 95	240	
Магазин самообслуживания	270	4× 120	270	300
		4× 120	270	
23	257,7	4× 120	270	300
Итого по ТП	1134,6	-	-	-

Таблица 28 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП11

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расч.АВ}, A$
Столовые, кафе и рестораны	94,9	4× 25	115	100
24	280,7	4× 150	305	300
Дошкольные образовательные учреждения	126,2	4× 35	135	160
Магазин самообслуживания	145,8	4× 50	165	160
3	280,7	4× 150	305	300
Итого по ТП	771,5	-	-	-

Таблица 29 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП12

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расч.АВ}, A$
Дошкольные образовательные учреждения	126,2	4× 35	135	160
Магазины непродовольственных товаров	145,8	4× 50	165	160
4	187,2	4× 70	200	200
Итого по ТП	518,7	-	-	-

Таблица 30 – Расчетные данные по определению сечений кабельных линий и автоматических выключателей для ТП13

Жилые и общественные здания первого квартала	I_p, A	$F, мм^2$	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расч.АВ}, A$
27	280,7	4× 150	305	300
28	280,7	4× 150	305	300
Предприятие по предоставлению услуг населению	260	4× 120	270	300
Итого по ТП	730,5	-	-	-

Питающие линии к трансформаторным подстанциям выполняем из кабелей типа АПВВ, а результаты выбора заносим в таблицу 31.

Таблица 31 – Результаты выбора питающих линий между ТП и от распределительного пункта до ТП

Начало и конец линии	S_p , кВА	I_p , А	F , мм ²	$I_{дон}$, А
3 – 2	946,37	26,05	3 × 95	326
2 – 1	1642,35	45,21	3 × 95	326
1 – распредпункт	2578,86	70,98	3 × 95	326
6 – 5	959,7	26,42	3 × 95	326
5 – 4	1619	44,56	3 × 95	326
распредпункт – 4	2553,64	70,29	3 × 95	326
9 – 8	1590,64	43,78	3 × 95	326
8 – 7	2472,71	68,06	3 × 95	326
7 – 10	3465,04	95,38	3 × 120	370
распредпункт – 10	4956,81	136,44	3 × 150	413
13 – 12	960,51	26,44	3 × 95	326
12 – 11	1642,45	45,21	3 × 95	326
распредпункт – 11	2656,8	73,13	3 × 95	326

Выводы. В распредпункте напряжением 10 кВ устанавливаем камеры сборные одностороннего обслуживания КСО-298М-1000, которые производит предприятие «Электрощит». На внутриквартальных КТП размещаем трансформаторы марки ТМГ, которые производит ООО «Тольяттинский трансформатор», устанавливаем выключатели нагрузки ВМП-10, высоковольтные разъединители РВ-10, автоматические выключатели ВА-СЭЩ, измерительные трансформаторы тока ТШЛ-0,66. Произведён выбор кабелей и аппаратов защиты для линий напряжением 0,4 кВ, соединяющих трансформаторные подстанции с жилыми домами и общественными зданиями.

9 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения жилого квартала

«Расчеты токов короткого замыкания (КЗ) выполняются для выбора электрических аппаратов по коммутационной способности, проверки их на термическую и электродинамическую стойкость, выбора уставок релейной защиты, выбора и проверки устройств грозозащиты и т.д.

В трехфазной системе возможны трехфазное; двухфазное и однофазное короткое замыкания. Однофазное КЗ возможно только в сетях с глухозаземленными или эффективно заземленными нейтралями. В электрических сетях, работающих с изолированными нейтралями или нейтралями, заземленными через компенсирующие устройства, замыкание одной фазы на землю называется простым замыканием или однофазным замыканием на землю.

Трехфазное КЗ является симметричным, двухфазное и однофазное КЗ несимметричным. В рамках данного пособия рассмотрены трехфазные КЗ в установках переменного тока напряжением до и выше 1 кВ и однофазные КЗ в установках переменного тока напряжением до 1 кВ» [18].

9.1 Расчет токов КЗ в сетях свыше 1000 В

На рисунке 5 изображены расчётная схема для определения токов КЗ и ее схема замещения.

Внешняя система имеет следующие характеристики: $S_6 = 100$, $U_H = 10$ кВ, $S_6 = 100$; $S_k = 200$.

Кабельная линия, выполненная кабелем типа АПвВ-10 3x150, $x_0 = 0,176$ Ом / км , $l = 0,45$ км, $U_H = 10,5$ кВ

$$*X_{c(6)} = \frac{S_6}{S_k}, \quad (33)$$

$$*X_{c(6)} = \frac{100}{200} = 0,5$$

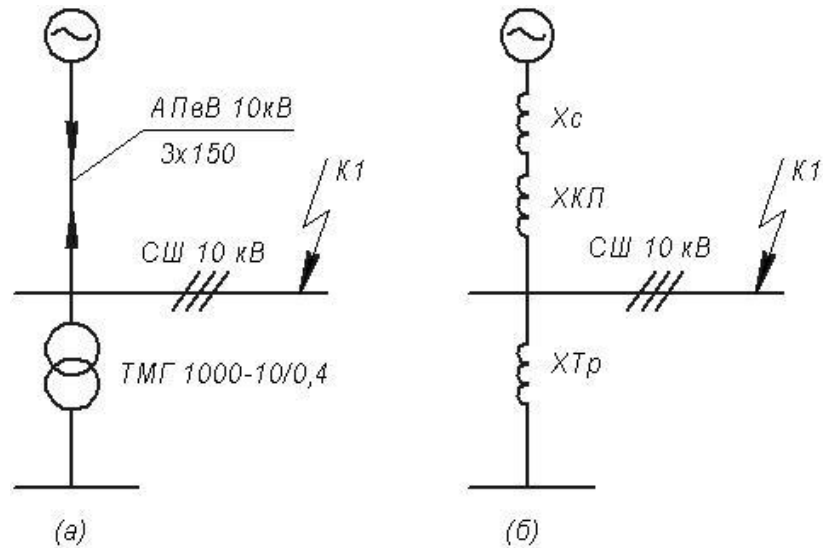


Рисунок 5 - Электрическая схема сети и её схема замещения по которой проводился расчёт токов короткого замыкания

$$*X_{л(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2}, \quad (34)$$

$$*X_{л(6)} = 0,176 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,072.$$

Найдем значение трехфазного тока КЗ в точке 1 по следующим выражениям

$$X_{\Sigma k1} = X_c + X_{кп}, \quad (35)$$

$$X_{\Sigma k1} = 0,5 + 0,072 = 0,572,$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{1}{X_{\Sigma k1}}, \quad (36)$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{1}{0,572} = 1,75,$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_H}, \quad (37)$$

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5,$$

$$I_{к1,кА}^{(3)} = I_{к1}^{(3)} \cdot I_6, \quad (38)$$

$$I_{к1,кА}^{(3)} = 1,75 \cdot 5,5 = 9,63 \text{ кА.}$$

Найдем значение ударного тока в точке № по следующим выражениям

$$i_{уд.к1} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)}, \quad (39)$$

$$i_{уд.к1} = 1,75 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,75 = 4,33,$$

$$i_{уд.к1,кА} = i_{уд.к1} \cdot I_6, \quad (40)$$

$$i_{уд.к1,кА} = 4,33 \cdot 5,5 = 23,8 \text{ кА.}$$

9.2 Расчет токов КЗ в сетях до 1000 В

Расчётная схема участка сети напряжением до 1 киловольта его схема замещения представлены на рисунках 6 и 7 соответственно.

Найдем сопротивление системы

$$X_c = \frac{U_B}{S_{кз.сис}} \cdot 1000, \quad (41)$$

$$X_c = \frac{0,4^2}{200} \cdot 1000 = 0,8 \text{ МОм.}$$

Параметры кабельной линии:

АПВВ – 4x150; $l = 450$ м; $R_{уд} = 0,264$ мОм / м; $X_{уд} = 0,176$ мОм / м ;

$$R_{кЛ1} = R_{уд} \cdot l \cdot \left(\frac{U_6}{U_H} \right)^2 ; \quad (42)$$

$$R_{кЛ1} = 0,264 \cdot 450 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,17 \text{ мОм};$$

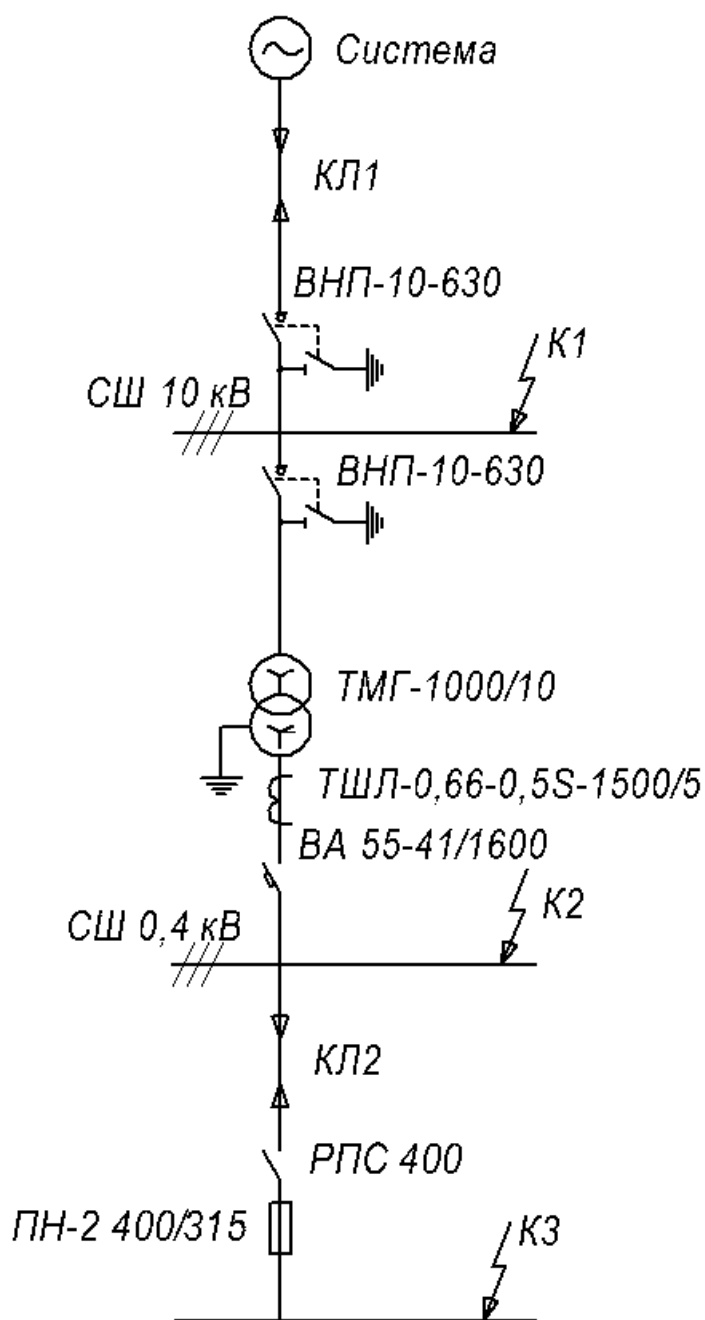


Рисунок 6 – Расчетная схема сети напряжением до 1000 В

$$X_{\text{кЛ1}} = X_{\text{уд}} \cdot l \cdot \left(\frac{U_6}{U_n} \right)^2, \quad (43)$$

$$X_{\text{кЛ1}} = 0,176 \cdot 450 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,11 \text{ МОм.}$$

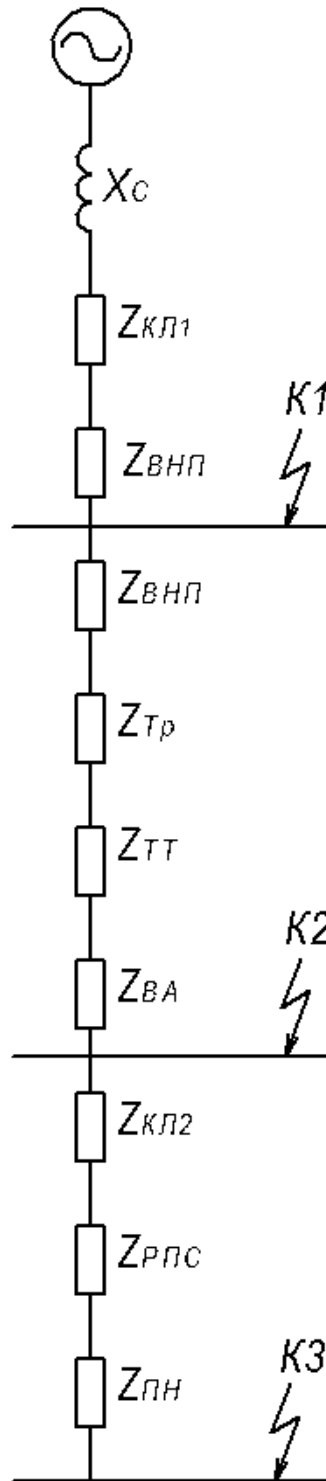


Рисунок 7 – Схема замещения сети напряжением до 1000В

Пересчитаем сопротивление выключателя нагрузки на сторону 0,4 кВ:

$$R_{уд} = 0,41 \text{ мОм / м}; X_{уд} = 0,13 \text{ мОм / м};$$

$$R_{ВНП} = R_{уд} \cdot \left(\frac{U_6}{U_H} \right)^2; \quad (44)$$

$$R_{ВНП} = 0,41 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,6 \text{ мОм},$$

$$X_{ВНП} = X_{уд} \cdot \left(\frac{U_6}{U_H} \right)^2, \quad (45)$$

$$X_{ВНП} = 0,13 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,18 \text{ мОм}.$$

Для определения активного и индуктивного значений внутреннего сопротивления силового трансформатора, установленного на трансформаторной подстанции используем данные о его технических характеристиках, представленные производителем трансформаторов: $S_H = 1000 \text{ кВА}$; $U_{HВН} = 10,5 \text{ кВ}$; $U_{HНН} = 0,4 \text{ кВ}$; $U_K = 5,5 \%$; $P_{кз} = 11 \text{ кВт}$;

$$R_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{HНН}^2}{S_H^2} \cdot 10^6; \quad (46)$$

$$R_T = \frac{11 \cdot 0,4^2}{1000^2} 10^6 = 1,76 \text{ мОм};$$

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_{HНН}^2}{100 \cdot S_H} \cdot 10^4; \quad (47)$$

$$Z_T = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 1000} 10^6 = 8,8 \text{ мОм};$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 8,6 \text{ мОм}. \quad (48)$$

Внутренние значения сопротивлений АВ типа ВА-СЭЩ-АН16D принимаем по данным производителя: $I_H = 1600 \text{ А}$; $R_{BA} = 0,14 \text{ мОм}$; $X_{BA} = 0,08 \text{ мОм}$.

Внутреннее сопротивление трансформатора тока исходя из имеющихся справочных данных в литературе составляет: $R_{TT} = 0,02 \text{ мОм}$; $X_{TT} = 0,04 \text{ мОм}$.

Удельные значения для кабельной линии выполненный кабелем марки ААБл 4х150, взятые из технических характеристик, представленных на официальном сайте производителя: $l = 100 \text{ м}$; $R_{уд} = 0,256 \text{ мОм / м}$; $X_{уд} = 0,063 \text{ мОм / м}$;

$$R_{кпл} = 100 \cdot 0,256 = 25,6 \text{ мОм};$$

$$X_{кпл} = 100 \cdot 0,063 = 6,3 \text{ мОм}.$$

Внутренние значения сопротивлений АВ типа ВА-СЭЩ-TS400 принимаем по данным производителя: $X_{уд} = 0,2 \text{ мОм / м}$.

Определим значение тока трёхфазного КЗ в расчётной точке номер два:

$$I_{км}^{(3)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (49)$$

Определим суммарные активное и реактивное сопротивления до второй точки:

$$R_{\Sigma} = 0,17 + 0,59 + 0,59 + 1,76 + 0,14 + 0,02 = 3,3 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma} = 0,8 + 0,11 + 0,18 + 0,18 + 8,62 + 0,08 + 0,04 = 10 \text{ мОм}.$$

Найдем полное сопротивление до точки 2 из выражения:

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 10,5 \text{ мОм.} \quad (50)$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}, \quad (51)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока КЗ:

$$i_{y0} = k_{y0} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2}^{(3)}, \quad (52)$$

$$\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{10}{3,3} = 3,06. \quad (53)$$

$$i_{y0} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 22 = 40,4 \text{ кА.}$$

Определим суммарные активное и реактивное сопротивления до третьей точки:

$$R_{\Sigma} = 0,17 + 0,59 + 0,59 + 1,76 + 0,14 + 0,02 + 25,6 = 28,9 \text{ мОм,}$$

$$X_{\Sigma} = 0,8 + 0,11 + 0,18 + 0,18 + 8,62 + 0,08 + 0,04 + 6,3 + 0,2 + 0,2 = 16,7 \text{ мОм.}$$

Найдем полное сопротивление до точки 3 из выражения:

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 33,4 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}},$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 33,4} = 6,9 \text{ кА},$$

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0,57 \Rightarrow K_{yK3} = 1,2,$$

Значение ударного тока КЗ:

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 12,3 \text{ кА}.$$

9.3 Проверка выбранных автоматических выключателей на электродинамическую устойчивость

Условие, по которому выполняется проверка:

$$I_{дин} \geq i_y, \quad (54)$$

где « $I_{дин}$ – ток динамической стойкости коммутационного аппарата, кА, определяется по выражению» [16]:

$$I_{дин} = n \cdot I_{нкс}, \quad (55)$$

где « $I_{нкс} = 31 \text{ кА}$ – предельная коммутационная способность;

$n = 2,1$ – коэффициент характеризующий отношение наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности аппарата» [16].

$$I_{дин} = 2,1 \cdot 31 = 65 \text{ кА},$$

подставив полученное значение в 54 получаем

$$65 \text{ кА} \geq 40,4 \text{ кА}.$$

Условие верно, что подтверждает правильность выбора автоматического выключателя.

Вывод.

Выполнен расчёт максимальных значений токов коротких замыканий, которые могут возникнуть в системе электроснабжения жилого квартала, составлена расчетная схема и произведён расчёт токов на стороне 10 кВ линий, питающих трансформаторные подстанции. Составлена расчётная схема сети напряжением 0,4 кВ от трансформаторной подстанции до жилых и общественных зданий микрорайона, определены активные и индуктивные сопротивления всех входящих в схему замещения элементов, найдено действующее значение как трехфазного металлического тока короткого замыкания, так и его мгновенного ударного значения. По найденным параметрам проверена динамическая устойчивость выбранных ранее в схеме электроснабжения автоматических выключателей.

10 Определение расходов тепловой энергии на нужды квартала

Тепловую энергию жители первого квартала получают от двух центральных тепловых пунктов (ЦТП). Питание центральных тепловых пунктов осуществляется по двум трубам, проложенным внутри непроходного канала [20] – [22].

В общем виде потребление тепловой энергии жилыми многоквартирными домами и общественными зданиями производим по выражению:

$$Q_{om} = q_0 \cdot V(t_e - t_n), \quad (56)$$

где « V – объем отапливаемого помещения, m^3 ,

$q_0 = 0,3-0,4 \frac{ккал}{m^3 \cdot ч \cdot град}$ – удельная тепловая характеристика

отапливаемых зданий, которая определяет отдачу тепла одного m^3 помещения в 1 час на $1^\circ C$.

- $t_e = 18^\circ C$ для жилых, административных зданий, общежитий, гостиниц,

t_n – расчетная отопительная температура наружного воздуха (температура наружного воздуха самой холодной пятидневки)» [20].

«Произведем расчет расхода тепловой энергии на отопление жилого многоквартирного дома №15» [21]:

$$V = 57600 \text{ м}^3; \quad q_0 = 0,4 \frac{ккал}{\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}},$$

$$Q_{om} = 0,4 \cdot 57600(18 + 27) = 1,037 \text{ Гкал / ч (Вт)}.$$

«Произведем расчет расхода тепловой энергии на отопление жилых многоквартирных домов №3, №5, №6, №24» [21]:

$$Q_{от} = 0,4 \cdot 57600(18 + 27) \cdot 4 = 4,147 \text{ Гкал / ч (Вт)}.$$

Вывод.

Выполнен расчёт объёма тепловой энергии, необходимой для потребления на собственные нужды жилым кварталом. Определены выражения для вычисления необходимой тепловой энергии в зависимости от суммарного объёма отапливаемых помещений, удельные тепловые характеристики зданий, а также разницы температур между внутренней температурой воздуха и расчётной температурой наружного воздуха, за которую принимается минимальная температура самого холодного отрезка продолжительностью в 5 дней. Выполнен расчёт потребления тепловой энергии, как одним домом номер 15, так и группой жилых домов, состоящих из 5 зданий с номерами 3, 5, 6 и 24.

Заключение

Цель работы заключалась в создании условий для надежного снабжения электрической энергией жилых многоквартирных домов и общественных зданий жилого квартала. Приведена характеристика жилого квартала и основных потребителей электроэнергии, располагающихся на его территории.

В соответствии с установленной в нормативных документах методикой определения расчётных нагрузок на вводе жилых многоквартирных домов, отдельно определены нагрузки по квартирам, а также по силовым электроприемникам, находящимся внутри жилых домов, общее значение нагрузки получено путём суммирования полученных значений. В результате расчетов общая нагрузка жилых многоквартирных домов получилась равной 9976 кВА. Расчеты требуемого количества светильников внутриквартальной системы освещения и ее мощности позволили получить значение мощности равное 271 кВА.

Всего для электроснабжения первого квартала по значению удельной мощности выбраны 13 комплектных трансформаторных подстанций с установкой на каждой по двух трансформаторов с номинальной полной мощностью равной 630 кВА и 1000 кВА. Для питающей сети напряжением 10 кВ первого квартала по совокупности характеристик принимаем двухлучевую схему с наличием двухстороннего питания, которая позволяет снабжать электрической энергией потребителей, относящихся к любой из трех категорий по надежности электроснабжения.

В распредпункте напряжением 10 кВ устанавливаем камеры сборные одностороннего обслуживания КСО-298М-1000, которые производит предприятие «Электрощит». На внутриквартальных КТП размещаем трансформаторы марки ТМГ, которые производит ООО «Тольяттинский трансформатор», устанавливаем выключатели нагрузки ВМП-10, высоковольтные разъединители РВ-10, автоматические выключатели ВА-СЭЩ, измерительные трансформаторы тока ТШЛ-0,66.

Произведен расчет сечений, питающих ТП кабелей и токи расцепителей автоматических выключателей, которые были проверены на электродинамическую стойкость по результатам расчетов токов КЗ.

Выполнен расчёт объёма тепловой энергии, необходимой для потребления на собственные нужды жилым кварталом. Определены выражения для вычисления необходимой тепловой энергии в зависимости от суммарного объёма отапливаемых помещений, удельные тепловые характеристики зданий, а также разницы температур между внутренней температурой воздуха и расчётной температурой наружного воздуха, за которую принимается минимальная температура самого холодного отрезка продолжительностью в 5 дней. Выполнен расчёт потребления тепловой энергии, как одним домом номер 15, так и группой жилых домов, состоящих из 5 зданий с номерами 3, 5, 6 и 24.

Список используемой литературы

1. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
2. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
3. Анчарова Т. В., Рашевская М.А., Стебунова. Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник , 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. 415 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/982211> (дата обращения 18.12.2022).
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения : электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 05.12.2022).
5. Гальперин М.В. Электротехника и электроника : учебник, 2-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 480 с.
6. Данилов М.И. Романенко И.Г. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 16.12.2022).
7. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
8. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.

9. Мастепаненко М.А. Введение в специальность. Электроэнергетика и электротехника : учеб. пособие. Ставрополь : СтГАУ, 2015. 116 с.
10. Матаев У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями) : учебное пособие. Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.
11. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. 416 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003805> (дата обращения 14.12.2022).
12. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М.: Госстрой РФ, 2003.
13. Старкова Л.Е. Справочник цехового энергетика : учебно-практическое пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 352 с.
14. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 05.12.2022).
15. Ушаков В.Я., Чубик П.С. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2015. 388 с.
16. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Жданов В.Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.
17. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие. 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2019. 136 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1000152> (дата обращения: 15.12.2022).
18. Bogdanov D., Farfan J., Sadovskaia K., Aghahosseini A., Child M., Gulagi A., Oyewo A.S., de Souza Noel Simas Barbosa L., Breyer C. Radical

transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps // Nature Communications. 2019, №10 (1), p.p. 1077-1080.

19. Hickey R.B., Robert B. Electrical Engineer's Portable Handbook. USA: McGraw-Hill Companies, 2012. 575 p.

20. Li G., Li G., Zhou M. Model and application of renewable energy accommodation capacity calculation considering utilization level of inter-provincial tie-line // Protection and Control of Modern Power Systems. 2019. №4 (1). p.p. 18-23.

21. Qiu L., Ouyang Y., Feng Y., Zhang X. Review on micro/nano phase change materials for solar thermal applications // Renewable Energy. 2019. №14, pp. 513-538.

22. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.