

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 первого квартала Автозаводского района г. Тольятти

Студент

А.А. Левашов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе на тему «Электроснабжение первого квартала Автозаводского района г. Тольятти» определены значения расчетных нагрузок в жилом квартале. Произведен расчет нагрузок как для жилых домов рассматриваемого микрорайона, так предприятий торговли, образования и других административных и общественных зданий. Определены нагрузки системы внутриквартального освещения.

Рассчитано необходимое количество внутриквартальных трансформаторных подстанций и произведен расчет устройств компенсации реактивной мощности.

Выполнен выбор и обоснование схемы питающих сетей 10 кВ.

Определены значения токов короткого замыкания в различных точках схемы. Произведен расчет кабельных линий и автоматических выключателей и их проверка на устойчивость к электродинамическому и термическому воздействию токов короткого замыкания.

Бакалаврская работа выполнена в объеме 53 страниц печатного текста, включая 8 рисунков и 31 таблицу. Список используемых источников состоит из 22 пунктов, включая 5 источников на английском языке. Работа дополняется шестью чертежами формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика жилого квартала.....	5
2 Расчет нагрузок жилых зданий.....	7
3 Расчет нагрузок общественных зданий.....	12
4 Расчет нагрузок внутриквартального освещения.....	15
5 Расчет суммарных расчетных нагрузок жилого квартала.....	17
6 Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов во внутриквартальных ТП с учетом компенсации реактивной мощности.....	18
7 Выбор и обоснование схемы питающих сетей 10 кВ.....	27
8 Расчет кабельных линий и автоматических выключателей.....	30
9 Расчет значений токов короткого замыкания.....	40
9.1 Определение значений токов КЗ в сетях свыше 1 кВ.....	40
9.2 Определение значений токов КЗ в сетях до 1 кВ.....	42
9.3 Проверка автоматов на электродинамическую стойкость.....	48
10 Определение параметров системы теплоснабжения жилого квартала.....	49
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

## 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].

Одними из важных аспектов при проектировании систем электроснабжения города являются вопросы компенсации реактивной мощности и обеспечения нормируемых показателей качества электрической энергии у конечных потребителей.

Целью настоящей бакалаврской работы является повышение надежности электроснабжения жилых домов и общественных зданий в жилом квартале г. Тольятти.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решение ряда задач: расчет нагрузок жилых и общественных зданий, а также от системы внутриквартального освещения; расчет суммарных расчетных нагрузок жилого квартала с последующим выбором числа и номинальной мощности трансформаторов во внутриквартальных ТП и установок для компенсации реактивной мощности; выбор и обоснование схемы питающих сетей 10 кВ; расчет кабельных линий и автоматических выключателей; расчет значений токов короткого замыкания с проверкой выбранных защитных аппаратов; определение параметров система теплоснабжения жилого квартала.

Решение поставленных задач позволит достичь цель работы и обеспечить надежное электроснабжение потребителей жилого квартала.

## 1 Характеристика жилого квартала

Жилой квартал располагается в Автозаводском районе г. Тольятти, ограничен улицами Свердлова, Революционной, Московским и Ленинским проспектами, и занимает площадь в один км<sup>2</sup>. План расположения жилого квартала представлен на рисунке 1.

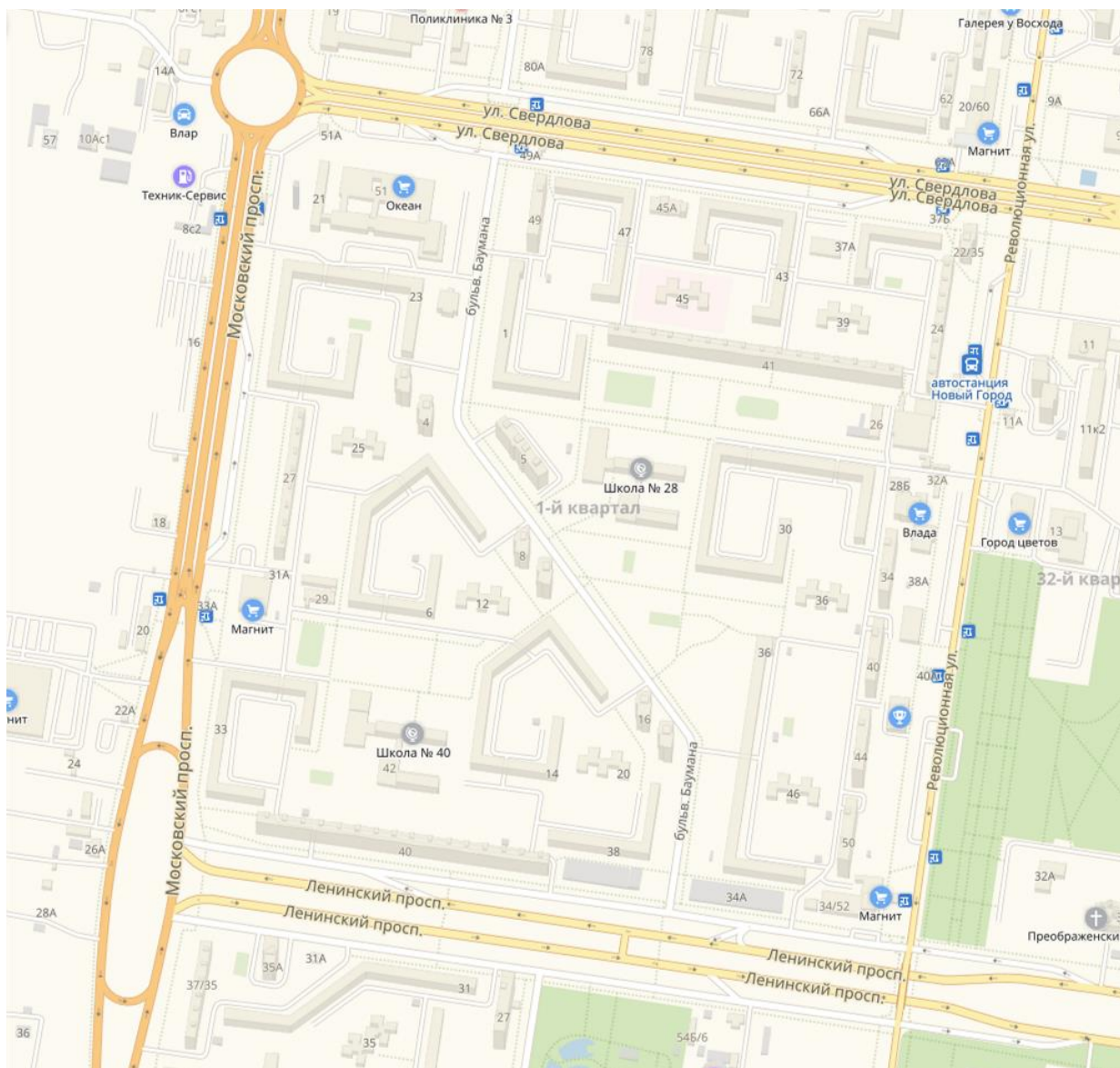


Рисунок 1 - План расположения жилого квартала

Основными потребителями электроэнергии в жилом квартале являются многоэтажные жилые дома и общественные здания к которым относятся школы, детские сады, магазины различного назначения и т.д.

По надежности электроснабжения потребители электроэнергии жилого квартала относятся к 2й и 3й категориям, а, следовательно, должны получать питания от двух независимых источников электроэнергии. Такими источниками для жилого квартала являются силовые трансформаторы, расположенные на ГПП №1, куда в свою очередь поступает электроэнергия от ТЭЦ ВАЗа.

Многоэтажные жилые дома и имеют этажность от 5 до 16 этажей. Все квартиры в жилых домах оборудованы электрическими плитами для приготовления пищи.

Выводы по разделу: дана краткая характеристика первого жилого квартала Автозаводского района г. Тольятти.

## 2 Расчет нагрузок жилых зданий

Для определения расчетных электрических нагрузок в городских сетях используются методы:

- удельных расчетных нагрузок, которые устанавливаются на квартиру (кВт/квар), единицу площади (кВт/м<sup>2</sup>), человека (кВт/чел) и т.д. Метод применяется для определения расчетных нагрузок квартир, школ, детсадов, учреждений общественного питания и т.д.;

- коэффициента спроса; применяется для расчета отдельных групп силовых электроприемников.

При суммировании расчетных нагрузок разных групп ЭП используются коэффициенты, учитывающие несовпадение максимумов нагрузок этих групп ЭП во времени: коэффициенты одновременности, участия в максимуме и др.

Расчеты нагрузок проводятся параллельно с построением схемы электроснабжения [5-7].

Расчетное значение нагрузки на вводе многоквартирного жилого дома определяем по методике, изложенной в [8].

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

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

Уточненное в зависимости от количества квартир значение удельной нагрузки

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

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

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

«Расчетная нагрузка силовых электроприемников» [8]:

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

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

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

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

«Расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования» [8]:

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

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

$$P_c = 29 + 9 = 38 \text{ кВт.}$$

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

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

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

Значение реактивной мощности на вводе в жилой дом:

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



Реактивная мощность квартир:

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

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

Реактивная мощность лифтовых установок:

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

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

Реактивная мощность сантехнических установок:

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

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

Суммарное значение реактивной мощности на вводе в жилой дом:

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

Определение значений расчетных нагрузок на вводах в остальные многоквартирные дома производим по той же методике, а полученные результаты сводим в таблицу 1.

Выводы по разделу: определены суммарные расчетные нагрузки жилых многоквартирных домов первого квартала.

Таблица 1 – Определение значений расчетных нагрузок на вводах в остальные многоквартирные дома

$N_{кв.},$ <i>шт</i>	$P_{уд.кв.},$ <i>кВт/кв</i>	$n_{нас.л.},$ <i>шт</i>	$P_{нас.л.},$ <i>кВт</i>	$n_{гр.л.},$ <i>шт</i>	$P_{гр.л.},$ <i>кВт</i>	$K_{с.л}$	$K_{с.см}$	$P_{р.л.},$ <i>кВт</i>	$n_{см.у}$	$P'_{см.у.},$ <i>кВт</i>	$P_{см.у.},$ <i>кВт</i>	$P_{с.},$ <i>кВт</i>	$tg\varphi_{кв}$	$tg\varphi_{л}$	$tg\varphi_{см.у}$	$P_{р.ж.д.},$ <i>кВт</i>	$Q_{р.ж.д.},$ <i>квар</i>	$S_{р.ж.д.},$ <i>кВА</i>
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
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
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
377	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	482,69	96,54	492,25
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
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
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
450	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	558,00	111,6	569
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
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
200	1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	272	54,4	277,39
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
360	1,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	463,68	92,74	472,86
200	1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	272	54,4	277,39
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
250	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	320	64,00	326,34
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
250	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	320	64	326,34

Продолжение таблицы 1

$N_{кв.,}$ <i>шт</i>	$P_{уд.кв.},$ <i>кВт/кв</i>	$n_{пас.л.}$ <i>шт</i>	$P_{пас.л.},$ <i>кВт</i>	$n_{гр.л.}$ <i>шт</i>	$P_{гр.л.},$ <i>кВт</i>	$K_{с.л}$	$K_{с.ст}$	$P_{р.л.},$ <i>кВт</i>	$n_{ст.у.}$	$P'_{ст.у.},$ <i>кВт</i>	$P_{ст.у.},$ <i>кВт</i>	$P_{с.},$ <i>кВт</i>	$tg\varphi_{кв}$	$tg\varphi_{л}$	$tg\varphi_{ст.у.}$	$P_{р.ж.д.},$ <i>кВт</i>	$Q_{р.ж.д.},$ <i>квар</i>	$S_{р.ж.д.},$ <i>кВА</i>
150	1,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	214,5	42,9	218,75
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
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
450	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	558	111,6	569
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
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
450	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	558	111,6	569
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
470	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	587,5	117,5	599,13
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
Итого по многоквартирным домам																		9976

### 3 Расчет нагрузок общественных зданий

К общественным зданиям относятся предприятия общественного питания, общеобразовательные школы, кинотеатры и киноконцертные залы, здания проектных, конструкторских организаций, учреждений управления, гостиницы и т.д. В нормативных документах приводятся данные для ориентировочного определения расчетных нагрузок на вводе в общественное здание. Для более точного определения нагрузок требуется состав электроприемников [5, 9, 10].

В качестве примера определим значение расчетной нагрузки для магазина хозяйственно-бытовых товаров.

Ориентировочное определение расчетных нагрузок проводится по укрупненным удельным электрическим нагрузкам [5]:

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

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

Реактивная мощность на вводе в общественное здание [5]:

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

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

Полная мощность на вводе в общественное здание [5]:

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

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

Для остальных общественных зданий, располагаемых в жилом квартале, значения нагрузок определяем по формулам 10 – 12, а полученные результаты сводим в таблицу 2.

В таблице используются следующие сокращенные наименования общественных зданий: продуктовые магазины – ПМ; предприятия общественного питания – ПОП; аптеки – Апт; высшие ученые заведения – ВУЗ; рынок – Рын; Средняя школа – СШ; супермаркет – Суп; банк – Банк; детский сад – ДС; магазин промышленных товаров – МПТ; магазин одежды и обуви – МОО; дом быта – ДБ; торговый центр – ТЦ; жилищно-коммунальное хозяйство – ЖКХ; гостиницы – Гост; Гаражно-строительные кооперативы – ГСК; государственные бюджетные учреждения здравоохранения – ГБУЗ.

Таблица 2 – Нагрузки общественных зданий, располагаемых в жилом квартале

Сокращенное наименование общественного здания	$n$	$P_{уд}$	$P_p$ кВт	$tg\varphi_{кв}$	$Q_p$ квар	$S_p$ кВА
ПМ	200	0,25	50	0,75	37,5	62,5
ПОП	100	1,04	104	0,2	20,8	106,06
Банк	300	0,054	16,2	0,57	9,23	18,65
ДС	350	0,46	161	0,25	40,25	165,96
МПТ	1080	0,16	172,8	0,48	82,94	191,68
ДС	350	0,46	161	0,25	40,25	165,96
МОО	1080	0,16	172,8	0,48	82,94	191,68
ДБ	2000	0,16	320	0,48	153,6	354,95
ЖКХ	1000	0,043	43	0,48	20,64	47,7
Гост	20	0,34	6,8	0,48	3,26	7
Суп	250	0,25	62,5	0,75	46,88	78
ДС	350	0,46	161	0,25	40,25	165,96
ГСК	2000	0,043	86	0,48	41,28	95,39
СШ	1500	0,25	375	0,38	142,5	401,16
Апт	50	0,16	8	0,48	3,84	8,87

Продолжение таблицы 2

Сокращенное наименование общественного здания	$n$	$P_{yo}$	$P_p$ кВт	$tg\varphi_{кв}$	$Q_p$ квар	$S_p$ кВА
Гост	20	0,34	6,8	0,48	3,26	7,54
ПМ	150	0,25	37,5	0,75	28,13	46,88
МОО	250	0,16	40	0,48	19,2	44,37
ГБУЗ	1250	0,054	67,5	0,57	38,48	77,7
ВУЗ	1200	0,46	276	0,75	103,5	294,77
ПМ	500	0,25	125	0,75	93,75	156,25
ПОП	150	1,04	156	0,2	31,2	159,09
Апт	100	0,16	16	0,48	7,68	17,75
ВУЗ	1200	0,46	276	0,75	103,5	294,77
ПОП	20	1,04	20,8	0,2	4,16	21,21
Рын	500	0,23	115	0,7	80,5	140,38
СШ	1500	0,25	375	0,38	142,5	401,16
Суп	4000	0,16	640	0,48	307,2	709,91

Выводы по разделу: определены суммарные расчетные активные, реактивные и полные нагрузки предприятий общественного питания, общеобразовательных школ, кинотеатров и киноконцертных залов, зданий проектных, конструкторских организаций, учреждений управления, гостиниц и т.д., располагаемых внутри квартала.

#### 4 Расчет нагрузок внутриквартального освещения

Характеристики светодиодных источников в немалой степени зависят от конструкции светодиодных модулей.

В процессе эксплуатации происходит неизбежное старение светодиодов. При рассмотрении характеристик углового распределения светосилы в вертикальной плоскости в зависимости от времени наработки для светодиода помимо значительного снижения силы света происходит сужение и перераспределение характеристик по углу излучения.

Работники рекламных агентств также отмечают падение светосилы после первых 5000 - 10000 тыс. ч работы. Реальный срок службы белых светодиодов колеблется от 20000 до 50 000 ч [11-13].

В целом люмен-амперные характеристики светодиодов слабо зависят от температуры в рабочем диапазоне температур (от -25 до 30 °С). Однако при понижении температуры напряжение светодиодов повышается. При этом градиент остается практически неизменным для токов от 40 мА до 100 мА, поэтому результаты можно интерполировать и на большие токи.

Расчетная нагрузка от осветительных установок, расположенных вдоль улиц:

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

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

Расчетная нагрузка от осветительных установок, расположенных внутри жилого квартала:

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

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

Общая расчетная нагрузка от осветительных установок:

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

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

Для освещения улиц и внутриквартальных проездов используются осветительные установки с лампами типа ДНАТ с коэффициентом мощности 0,85.

Общая реактивная расчетная нагрузка от осветительных установок:

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

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

Общая полная расчетная нагрузка от осветительных установок:

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

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

Выводы по разделу: в качестве осветительных установок применяем светильники типа ЖКУ и ЖТУ с лампами мощностью 250, 400 Вт. Суммарная расчетная мощность системы освещения составила 271 кВА.



## 5 Расчет суммарных расчетных нагрузок жилого квартала

Расчетная активная мощность потребителей в линиях или на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции определяется по выражению [1, 5, 8]:

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

$$P_{p.мкр.} = 7778,97 \text{ кВт},$$

Расчетная реактивная мощность в линиях или на шинах 0,4 кВ ТП определяются по формулам:

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

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

Расчетная полная мощность в линиях или на шинах 0,4 кВ ТП определяются по формулам:

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

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

Выводы по разделу: определены суммарные расчетные значения электрических нагрузок первого микрорайона, которые составили по активной мощности -  $P_{p.мкр.} = 7778,97$  кВт, реактивной мощности -  $Q_{p.мкр.} = 2577,29$  квар, полной нагрузки микрорайона -  $S_{p.мкр.} = 8194,80$  кВА.

## 6 Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов во внутриквартальных ТП с учетом компенсации реактивной мощности

Значение номинальной мощности трансформаторов определяем в соответствии с рекомендациями по удельной мощности на единицу площади, которая для данного жилого квартала составляет [14]

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

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

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

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

Если значения удельной мощности на единицу площади находятся в пределах от 5,0 до 8,5 МВт/км<sup>2</sup>, то рекомендуются к применению трансформаторы мощностью 630 кВА. Жилые и общественные здания микрорайона относятся к потребителям категории II по степени бесперебойности электроснабжения, лифты в 144-квартирных домах - к потребителям категории I, поэтому предполагаем установку КТП с двумя трансформаторами.

Количество подстанций определим по формуле

$$n_{тп} = \frac{S_{p.мк.p.}}{K_з \cdot S_{ТП.эк.}}, \quad (23)$$

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

К установке в жилом квартале принимаем 13 двухтрансформаторных ТП.

Определяем состав потребителей подстанций с учетом расположения зданий на плане и их расчетной мощности, результаты заносим в таблицу 3. Сокращенные наименования общественных зданий взяты из таблицы 2.

Таблица 3 – Распределение жилых и общественных зданий по подстанциям

№ ТП	Жилые и общественные здания	$S_{ном}$ , кВА
1	1, 2, 25, ДС	630
2	26, ТЦ, ЖКХ	630
3	7, 27, 28, Гост, ПМ	630
4	8, 9, 10, ДС	630
5	11, 12, ГСК	630
6	12, 13, СШ	630
7	14, 15, 16, Апт, Гост	630
8	17, 18, ПМ, МОО, ГБУЗ, ВУЗ	630
9	17, 19, 20 ,21, ПМ, ПОП, Апт, ВУЗ, ПОП, ПОП	1000
10	22, 23, СШ, Суп, ПМ	1000
11	3, 24, ПОП, Банк, ДС, Суп	630
12	4, ДС, МПТ	630
13	5, 6, ДБ	630

Расчет нагрузок по ТП выполним для трансформаторной подстанции №1.

Величина расчетной нагрузки:

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

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

Величина полной расчетной нагрузки:

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

Коэффициент загрузки трансформаторов на ТП

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

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

Коэффициент загрузки трансформаторов на ТП в послеаварийном режиме

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

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

Значение коэффициента не превышает допустимого:

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

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

Расчеты для других трансформаторных подстанций выполняем аналогичным образом, а результаты заносим в таблицы 4-16.

Нагрузка наружного освещения в таблице обозначена - НО.

Таблица 4 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №1

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
1	138,2	43,9	145	-	-
2	138,2	43,9	145	-	-
25	558	111,6	569	-	-
ДС	161	40,3	166	-	-
НО	11	6,8	12,9	-	-
Всего	910	222	937	0,74	1,48

Таблица 5 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №2

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
ТЦ	312,5	234,4	390,6	-	-
ЖКХ	43	20,6	47,7	-	-
НО	11	6,8	12,9	-	-
Всего	638,6	276,7	696	0,55	1,1

Таблица 6 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №3

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
7	587,5	117,5	599,1	-	-
27	138,2	43,9	145	-	-
28	138,2	43,9	145	-	-
Гост	6,8	3,3	7	-	-
ПМ	62,5	46,9	78	-	-
НО	9	5,6	10,6	-	-
Всего	915,1	241,2	946,4	0,75	1,5

Таблица 7 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №4

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
8	558	111,6	569,1	-	-
9	138,2	43,9	145	-	-
10	138,2	43,9	145	-	-
ДС	161	40,3	166	-	-
НО	9,3	5,8	11	-	-
Всего	908,1	221,2	934,6	0,74	1,48

Таблица 8 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №5

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
11	272	54,4	277,4	-	-
12	303,2	85,4	315	-	-
ГСК	86	41,3	95,4	-	-
НО	10	6,2	11,8	-	-
Всего	636,8	170,8	659,3	0,52	1,04

Таблица 9 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №6

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

Таблица 10 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №7

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
14	272	54,4	277,4	-	-
15	354	104,5	369,1	-	-
Апт	8	3,8	8,9	-	-
Гост	6,8	3,3	7,5	-	-
16	320	64	326,3	-	-
НО	9	5,6	10,6	-	-
Всего	964,6	233	992,3	0,79	1,5

Таблица 11 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №8

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
17	303,2	85,4	315	-	-
ПМ	37,5	28,1	46,9	-	-
МОО	40	19,2	44,4	-	-
18	320	64	326,3	-	-
ГБУЗ	67,5	38,5	77,7	-	-
ВУЗ	276	103,5	294,8	-	-
НО	8,9	5,5	10,4	-	-
Всего	843,7	257,2	882,1	0,7	1,4

Таблица 12 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №9

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

Продолжение таблицы 12

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
19	214,5	42,9	218,8	-	-
ПМ	125	93,8	156,3	-	-
ПОП	156	31,2	159,1	-	-
20	410	114,9	425,8	-	-
Апт	16	7,7	17,8	-	-
ВУЗ	276	103,5	294,8	-	-
21	163,6	49	171	-	-
ПОП	115	80,5	140,4	-	-
НО	8,5	5,3	10	-	-
Всего	1512,8	491,5	1590,6	0,8	1,5

Таблица 13 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №10

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
СШ	375	142,5	401,2	-	-
22	558	111,6	569,1	-	-
Суп	640	307,2	709,9	-	-
23	265,2	77,6	276,4	-	-
ПМ	50	37,5	62,5	-	-
НО	18	11,2	21,2	-	-
Всего	1415,2	471,7	1491,8	0,75	1,49



Таблица 14 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №11

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
ПОП	104	20,8	106,1	-	-
Банк	16,2	9,2	18,7	-	-
24	354	104,5	369,1	-	-
ДС	161	40,3	166	-	-
Суп	172,8	82,9	191,7	-	-
3	354	104,5	369,1	-	-
НО	10	6,2	11,8	-	-
Всего	968,6	301,1	1014,4	0,81	1,5

Таблица 15 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №12

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
ДС	161	40,3	166	-	-
МПТ	172,8	82,9	191,7	-	-
4	482,7	96,5	492,3	-	-
НО	10	6,2	11,8	-	-
Всего	660,8	168,6	681,9	0,54	1,08

Таблица 16 – Расчеты для трансформаторной подстанции ТП №13

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.ав}$
5	354	104,5	369,1	-	-
6	354	104,5	369,1	-	-

Продолжение таблицы 16

Жилые и общественные здания	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$K_3^H$	$K_3^{n.av}$
ДБ	320	153,6	355	-	-
НО	10	6,2	11,8	-	-
Всего	910	307,3	960,5	0,76	1,5

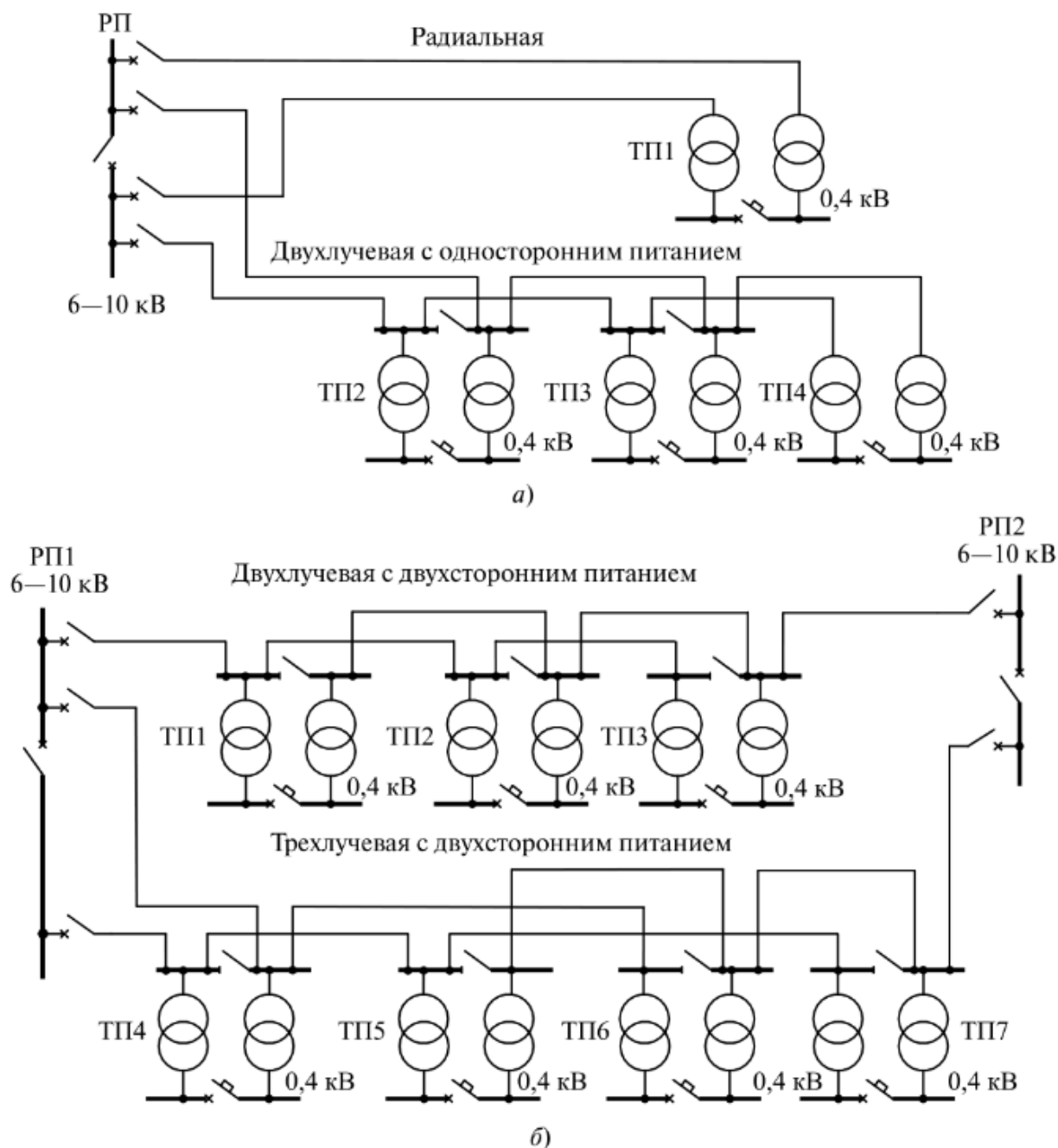
Выводы по разделу: удельная мощность на единицу площади для данного жилого квартала составила  $\sigma = 8195$  кВА/км<sup>2</sup>, что соответствует рекомендованной к применению мощности трансформаторов на внутриквартальных КТП 630 кВА.

К установке в жилом квартале были приняты 13 двухтрансформаторных ТП между которыми нагрузки были равномерно распределены.

Коэффициент загрузки трансформаторов каждой подстанции проверен в нормальном и послеаварийном режиме работы и находится в допустимых пределах.

## 7 Выбор и обоснование схемы питающих сетей 10 кВ

Для электроснабжения электроприемников первой категории используются схемы, приведенные на рисунке 2 [5].



а - радиальная и двухлучевая с односторонним питанием; б - двухлучевая и трехлучевая с двухсторонним питанием

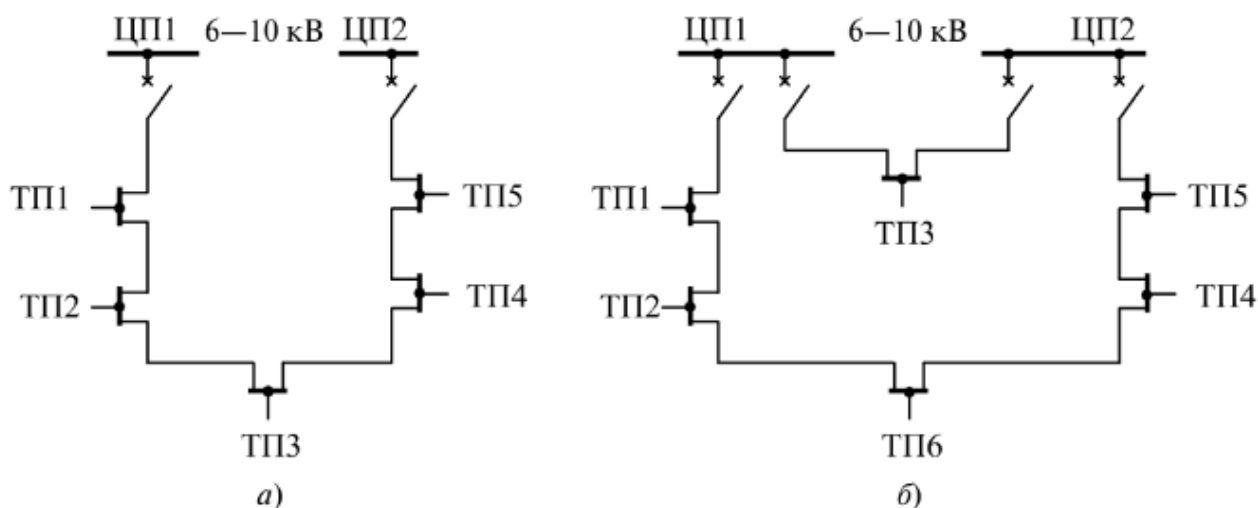
Рисунок 2 - Схемы питания двухтрансформаторных подстанций

На рисунке 2 изображены схемы, рекомендуемые для электроснабжения городских потребителей:

- радиальная (рисунок 2 а);
- двухлучевая с односторонним питанием (рисунок 2 а);
- двухлучевая с двухсторонним питанием (рисунок 2 б);
- трехлучевая с двухсторонним питанием (рисунок 2 б).

«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 (рисунок 3). Допускается применение двухлучевых и других автоматизированных схем, рекомендованных для электроприемников первой категории, если их применение не приводит к увеличению стоимости на сооружение сети» [5].



а - петлевая; б – кольцевая

Рисунок 3 - Петлевые схемы питания трансформаторных подстанций

Для электроснабжения районов с электроприемниками первой и второй категорий рекомендуется применение комбинированной петлевой и одно- или двухлучевой схемы (рисунок 4).

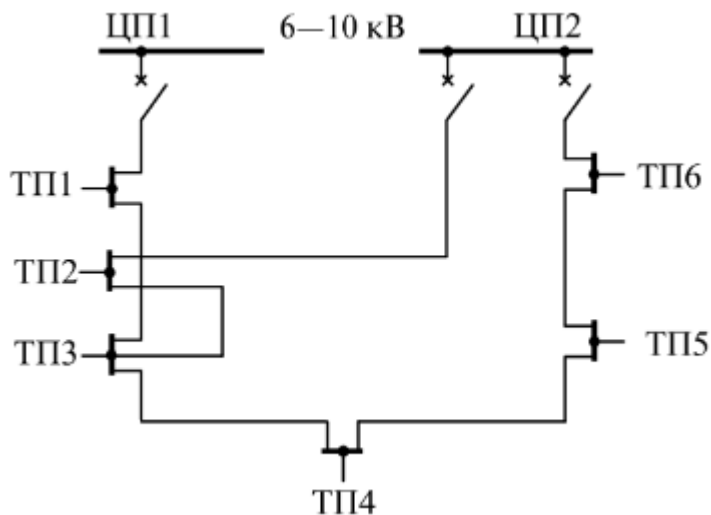


Рисунок 4 - Комбинированная петлевая и однолучевая схемы питания ТП

Для районов с ЭП третьей категории рекомендуются петлевые схемы.

Выводы по разделу: Для электрических сетей 10 кВ жилого квартала выбираем двухлучевую схему с двухсторонним питанием, позволяющую обеспечить надежным электроснабжением потребителей, относящихся ко всем трем категориям по надежности электроснабжения [15]. Пример выполнения такой схемы приведен на рисунке 2б. Схемы выполняется кабельными линиями.

## 8 Расчет кабельных линий и автоматических выключателей

В практике эксплуатации обычно возникает две группы задач, связанных с выбором электрооборудования - проверка соответствия выбранного электрооборудования реальным условиям эксплуатации и проведение правильной замены вышедших из строя изделий. Особенно актуальны эти вопросы для ответственных потребителей, для которых нерациональное использование электрооборудования наносит значительный ущерб.

Выбор сводится к оценке ряда показателей, характеризующих конкретные условия эксплуатации, и сопоставлению их с параметрами электрооборудования. При этом используются либо принцип ограничения, либо принцип оптимальности.

В первом случае показатели электрооборудования не должны выходить за пределы заданных допусков, например, фактическая мощность нагрузки не должна быть больше мощности электродвигателя. Во втором случае формируется оптимизационная задача, которая решается одним из известных методов.

Выбор оборудования по техническим характеристикам включает в себя оценку соответствия его условиям окружающей среды и предполагаемым режимам работы (мощности, току, напряжению).

Выбор с учетом параметров окружающей среды должен исключить применение электроприемников в условиях, на которые они не рассчитаны.

Электротехнические изделия, выпускаемые промышленностью, могут иметь следующее климатическое исполнение: У - с умеренным климатом, ХЛ - с холодным климатом, ТВ - с влажным тропическим климатом, Т - с сухим тропическим климатом, О - общеклиматического исполнения.

Для установки в распределительном пункте 10 кВ принимаем к установке камеры типа КСО-298М-1000 выпускаемые Самарским заводом «Электроцит».

Внешний вид камеры типа КСО-298М-1000 представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 - Внешний вид камеры типа КСО-298М-1000

Технические характеристики камеры типа КСО-298М-1000 представлены в таблице 17.

В трансформаторных подстанциях устанавливаем силовые трансформаторы типа ТМГ, выпускаемые ООО «Тольяттинский трансформатор», выключатели нагрузки типа ВНП-10, разъединители типа РВ-10, автоматические выключатели типа ВА-СЭЩ, трансформаторы тока типа ТШЛ-0,66 [16, 17].

Таблица 17 - Технические характеристики камеры типа КСО-298М-1000

<b>Технические характеристики</b>	<b>Значение</b>
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Номинальный ток главных цепей, А	630-1 600
Номинальный ток отключения выключателя, кА	20
Габаритные размеры, мм, не более	
Ширина × Высота × Глубина	750×2365×1365
Устанавливаемые высоковольтные выключатели	ВВУ-СЭЦ- 10- -20/1000
Устанавливаемые трансформаторы напряжения	ЗНОЛ-СЭЦ-10- -0,2/3-15/100
Устанавливаемые трансформаторы тока	ТОЛ-СЭЦ-10- -0,5S-1000/5
Устанавливаемые разъединители	РВЗ-СЭЦ-10/1000
Устанавливаемые ТСН	ТЛС-40

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.

Кабели напряжением выше 1000 В выбираются по следующим условиям:

- номинальному напряжению установки:



$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (27)$$

- по конструктивному исполнению;
- предельно допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы:

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

где  $I_{доп}$  - длительный допустимый ток в проводнике с учетом поправочных коэффициентов на количество совместно расположенных кабелей  $K_1$  и на значение температуры наружного воздуха  $K_2$ :

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

Определение необходимого сечения КЛ от ТП до потребителей производится по значению расчетного тока

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

В качестве примера выберем линию от ТП к средней школе. Расчетная нагрузка школы при питании по двум КЛ составит

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

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

Значение расчетного тока составит

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

Принимаем два кабеля типа ААБЛУ, проложенных в земле. Сечение кабеля выбираем по длительно допустимому току с учетом прокладки по формуле

$$I_{доп} \geq I_p^H, \quad (32)$$

Для защиты кабельных линий от сверхтоков устанавливаем на ТП автоматические выключатели типа ВА-СЭЩ-TD100, TD160, TS250 и TS400. Результаты выбора КЛ и АВ сводим в таблицы 18 – 30.

Таблица 18 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №1

Жилые и общественные здания	$I_p, \text{A}$	F, мм <sup>2</sup>	$I_{доп}, \text{A}$	$I_{ном.расц.АВ}, \text{A}$
1	110,3	4x25	115	160
2	110,3	4x25	115	160
25	216,4	4x 95 4x 95	240 240	250
ДС	126,2	4x 35	135	160
Всего	712,3	-	-	-

Таблица 19 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №2

Жилые и общественные здания	$I_p, \text{A}$	F, мм <sup>2</sup>	$I_{доп}, \text{A}$	$I_{ном.расц.АВ}, \text{A}$
ТЦ	297,1	4x 150	305	300
ЖКХ	36,3	-	-	40

Продолжение таблицы 19

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
4	323,8	4x 185	345	400
Всего	529,4	-	-	-

Таблица 20 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №3

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
7	110,3	4x 25	115	125
27	227,8	4x 95	240	250
		4x 95	240	
28	110,3	4x 25	115	125
Гост	64,7	-	-	80
Всего	719,8	-	-	-

Таблица 21 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №4

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
8	216,4	4x 95	240	250
		4x 95	240	
9	110,3	4x 25	115	125
10	110,3	4x 25	115	125
ДС	126,2	4x 35	135	160
Всего	710,9	-	-	-

Таблица 22 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №5

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{дон}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
11	211	4x 95	240	250
12	239,6	4x 95	240	250
ГСК	72,6	4x 16	90	80
Всего	501,5	-	-	-

Таблица 23 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №6

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{дон}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
13	179,8	4x 70	200	200
		4x 70	200	
СШ	300	4x 150	305	400
12	239,6	4x 95	240	250
Всего	729,9	-	-	-

Таблица 24 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №7

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{дон}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
14	211	4x 95	240	250
15	293,2	4x 150	305	300
16	248,2	4x 120	270	250
Всего	754,7	-	-	-

Таблица 25 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №8

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{дон}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
17	309	4x 185	345	400

Продолжение таблицы 25

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
18	248,2	4x 120	270	250
ГБУЗ	59,1	4x 10	65	63
ВУЗ	224,2	4x 95	240	250
Всего	670,9	-	-	-

Таблица 26 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №9

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
17	239,6	4x 95	240	250
19	166,4	4x 70	200	200
ПМ	118,8	4x 35	135	125
ПОП	121	4x 35	135	125
20	337,3	4x 185	345	400
ВУЗ	224,2	4x 95	240	250
21	146,2	4x 50	165	160
РЫН	106,8	4x 25	115	125
Всего	1209,8	-	-	-

Таблица 27 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №10

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
СШ	300	4x 150	305	400
22	216,4	4x 95	240	250
		4x 95	240	
Суп	270	4x 120	270	300
		4x 120	270	

Продолжение таблицы 27

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
23	257,7	4x 120	270	300
Всего	1134,6	-	-	-

Таблица 28 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №11

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
ПОП	94,9	4x 25	115	100
24	280,7	4x 150	305	300
ДС	126,2	4x 35	135	160
Суп	145,8	4x 50	165	160
3	280,7	4x 150	305	300
Всего	771,5	-	-	-

Таблица 29 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №12

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
ДС	126,2	4x 35	135	160
МПТ	145,8	4x 50	165	160
4	187,2	4x 70	200	200
Всего	518,7	-	-	-

Таблица 30 – Результаты выбора КЛ и АВ к потребителям от ТП №13

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм2	$I_{доп}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
27	280,7	4x 150	305	300
28	280,7	4x 150	305	300

Продолжение таблицы 30

Жилые и общественные здания	$I_p, A$	F, мм <sup>2</sup>	$I_{дон}, A$	$I_{ном.расц.АВ}, A$
ДБ	260	4x 120	270	300
Всего	730,5	-	-	-

Линии до трансформаторных подстанций выполняем кабелем марки АПВВ, а результаты выбора заносим в таблицу 31.

Таблица 31 – Результаты выбора линий до трансформаторных подстанций

Линия от ТП№ до ТП№	$S_p, кВА$	$I_p, A$	F, мм <sup>2</sup>	$I_{дон}, A$
3 – 2	946,37	26,05	3x95	326
2 – 1	1642,35	45,21	3x95	326
1 – РП1	2578,86	70,98	3x95	326
6 – 5	959,7	26,42	3x95	326
5 – 4	1619	44,56	3x95	326
РП – 4	2553,64	70,29	3x95	326
9 – 8	1590,64	43,78	3x95	326
8 – 7	2472,71	68,06	3x95	326
7 – 10	3465,04	95,38	3x120	370
РП – 10	4956,81	136,44	3x150	413
13 – 12	960,51	26,44	3x95	326
12 – 11	1642,45	45,21	3x95	326
РП1 – 11	2656,8	73,13	3x95	326

Выводы по разделу: Для установки в РП 10 кВ приняты к установке камеры КСО-298М-1000. Для защиты КЛ от сверхтоков установлены на ТП автоматические выключатели типа ВА-СЭЦ-TD100, TD160, TS250 и TS400. Кабельные линии выполнены кабелями марок ААБЛУ и АПВВ.

## 9 Расчет значений токов короткого замыкания

Расчеты токов короткого замыкания (КЗ) выполняются для:

- выбора и проверки электрооборудования по электродинамической и термической стойкости;
- определения уставок и обеспечения селективности срабатывания защиты на вводах в объект.

Это в первую очередь относится к выбору автоматических выключателей.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать активные и индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутого контура, включая силовые трансформаторы, трансформаторы тока, кабельные линии и проводки, шинопроводы, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей, разъемных и вторичных контактов аппаратов, дуги в месте КЗ. Общее активное сопротивление цепи КЗ может составлять более 30 % от ее индуктивного сопротивления. Зачастую необходимо также учитывать изменение активного сопротивления проводников в короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при коротком замыкании [1, 18, 19].

### 9.1 Определение значений токов КЗ в сетях свыше 1 кВ

На рисунке 6 представлены расчётная схема сети и схема замещения.

Параметры система:  $S_{\sigma} = 100$ ,  $U_n = 10$  кВ,  $S_{\sigma} = 100$ ;  $S_k = 200$  .

Кабельная линия: АПВВ-10 3х150,  $x_0 = 0,176$  Ом / км,  $l = 0,45$  км,

$U_n = 10,5$  кВ

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



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

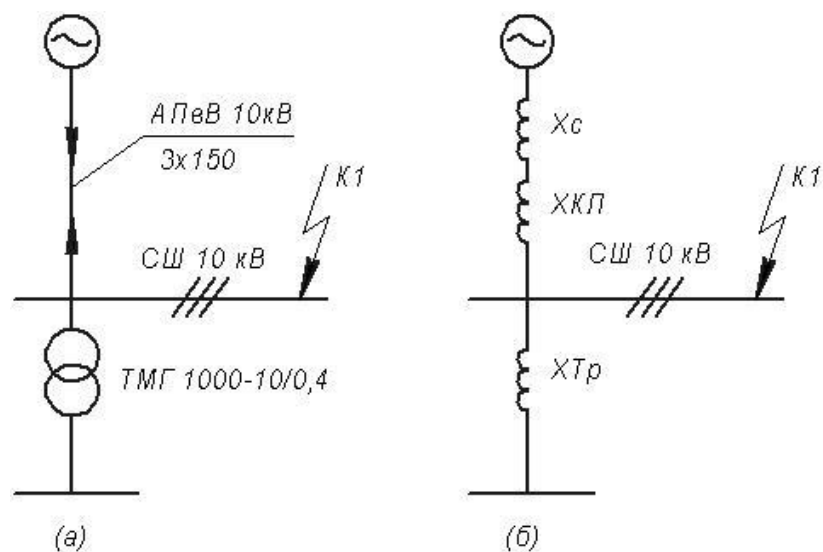


Рисунок 6 - Расчётная схема сети и схема замещения

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

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

Определим ток короткого замыкания в точке №1 по формулам

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

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

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

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

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

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

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

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

Определим ударный ток в точке №1 по формулам

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

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

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

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

## 9.2 Определение значений токов КЗ в сетях до 1 кВ

На рисунках 7 и 8 представлены расчётная схема сети и схема замещения для определения токов КЗ в сетях до 1 кВ.

Сопротивление системы определим по формуле

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

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

Активное и индуктивное сопротивление КЛ1:

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

$$R_{КЛ1} = R_{уд} \cdot l \cdot \left( \frac{U_6}{U_H} \right)^2; \quad (42)$$

$$R_{КЛ1} = 0,264 \cdot 450 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,17 \text{ мОм;}$$

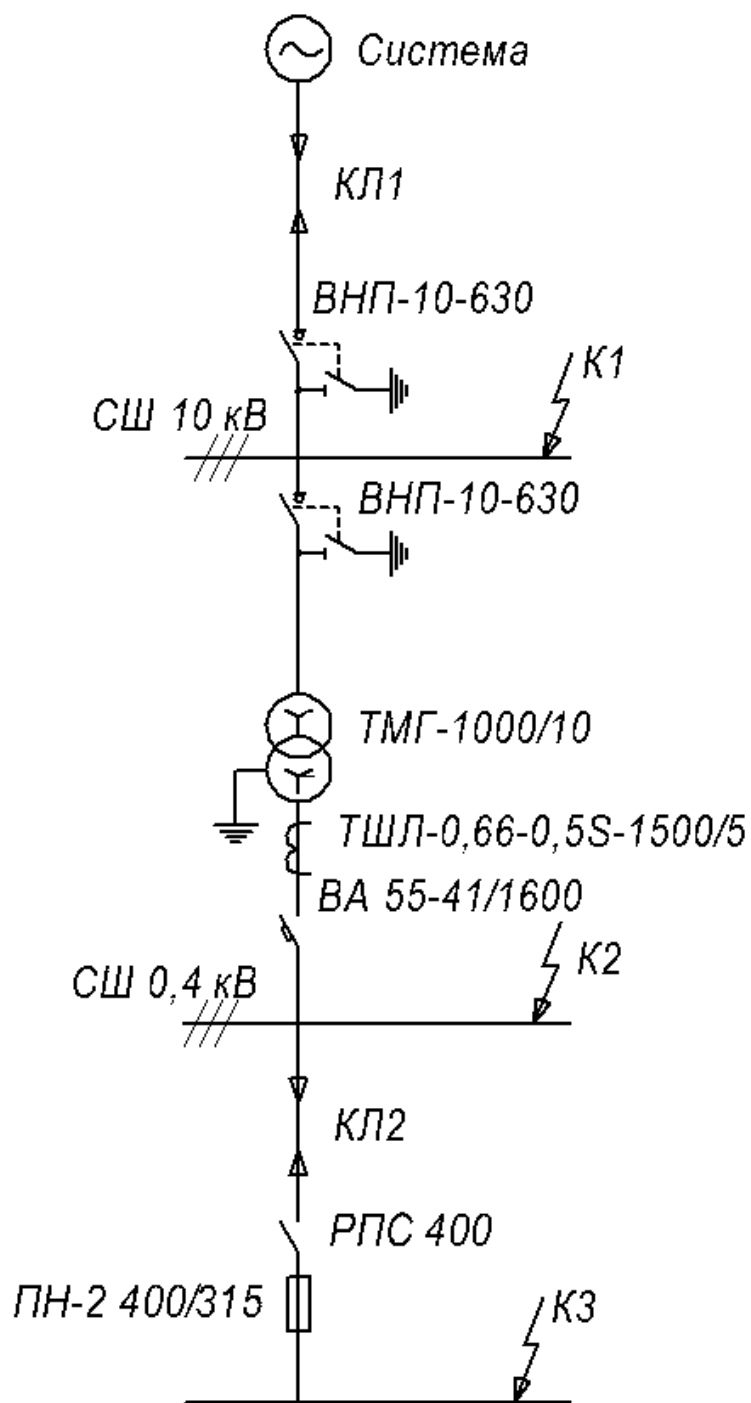


Рисунок 7 – Расчетная схема сети

$$X_{\text{КЛ1}} = X_{\text{уд}} \cdot l \cdot \left( \frac{U_6}{U_H} \right)^2, \quad (43)$$

$$X_{\text{КЛ1}} = 0,176 \cdot 450 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,11 \text{ мОм.}$$

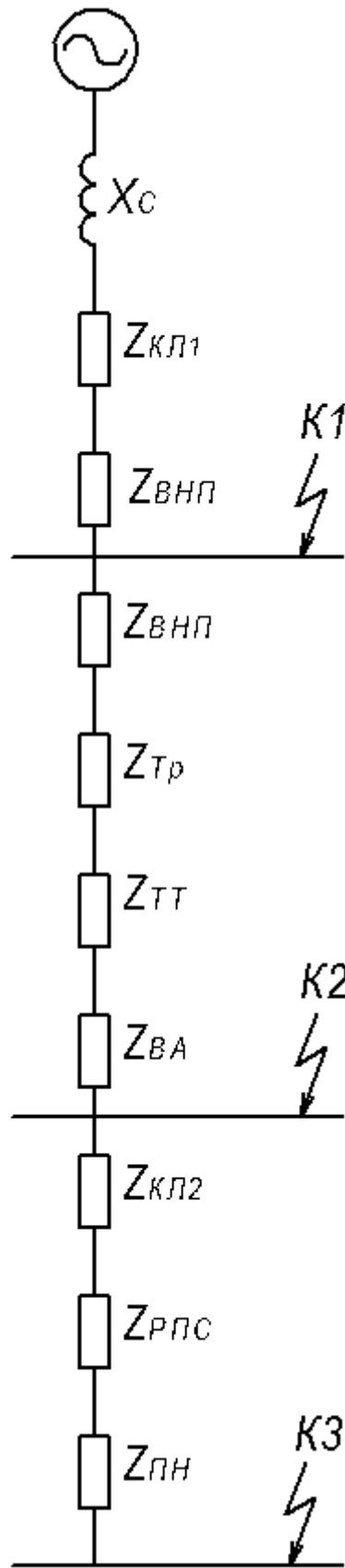


Рисунок 8 – Схема замещения сети

Определим сопротивление ВПП-10-630 по формуле:

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

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

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

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

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

Определим активное и индуктивное сопротивление трансформатора типа ТМГ-1000 на КТП:  $S_H = 1000 \text{ кВА}$ ;  $U_{HВН} = 10,5 \text{ кВ}$ ;  $U_{HНН} = 0,4 \text{ кВ}$ ;  $U_K = 5,5 \%$ ;  $P_{кз} = 11 \text{ кВт}$ ;

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

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

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

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

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

Определим значение сопротивления автомата типа ВА-СЭЩ-АН16D:

$$I_H = 1600 \text{ А}; R_{ВА} = 0,14 \text{ мОм}; X_{ВА} = 0,08 \text{ мОм}.$$

Определим значение сопротивления трансформатора тока типа ТШЛ - 0,66 - 0,5 - 1500/5:  $R_{TT} = 0,02$  мОм;  $X_{TT} = 0,04$  мОм.

Определим значение сопротивления кабельной линии №2, выполненной кабелем марки ААБл 4х150:  $l = 100$  м;  $R_{уд} = 0,256$  мОм / м;  $X_{уд} = 0,063$  мОм / м;

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

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

Определим значение сопротивления автомата типа ВА-СЭЩ-TS400:  $X_{уд} = 0,2$  мОм / м.

Определим величину тока трехфазного металлического КЗ в точке 2 по формуле:

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

Значения суммарных сопротивлений до точки 2:

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

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

Определим значение полного сопротивления до точки 2:

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

Тогда ток КЗ равен:

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

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

Ударный ток КЗ:

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

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

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

Значения суммарных сопротивлений до точки 3:

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

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

Определим значение полного сопротивления до точки 3:

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

Тогда ток КЗ равен:

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

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

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

Ударный ток КЗ:

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

### 9.3 Проверка автоматов на электродинамическую стойкость

Условие проверки автоматических выключателей на электродинамическую стойкость выглядит следующим образом:

$$I_{дин} \geq i_y , \quad (54)$$

где

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

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

тогда согласно условию 54

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

Условие проверки выполняется, следовательно автоматический выключатель выбран верно.

Выводы по разделу: Выполнен расчет токов короткого замыкания в характерных точках, по полученным значениям проверены ранее выбранные автоматические выключатели.



## 10 Определение параметров системы теплоснабжения жилого квартала

Теплоснабжение жилого квартала производится от двух ЦТП. Питание ЦТП производится по двухтрубным сетям, проложенным в непроходном канале [20-22].

Расход тепловой энергии, необходимой для отопления жилых и общественных зданий определим по формуле:

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

Расход тепловой энергии, необходимой для отопления жилого дома №15:

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

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

Расход тепловой энергии, необходимой для отопления жилых домов №3, №5, №6, №24:

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

Выводы по разделу: определены значения расхода тепловой энергии, необходимой для отопления жилых домов, подключенных к одному ЦТП.

## Заключение

В бакалаврской работе разработаны мероприятия по реконструкции системы электроснабжения первого квартала Автозаводского района г. Тольятти.

Определены значения расчетных нагрузок на вводах жилых домов и общественных зданий, расположенных внутри квартала. Суммарная нагрузка жилых домов составила 9976 кВА. Полная расчетная нагрузка от осветительных установок внутриквартального освещения составила 271 кВА.

К установке в жилом квартале приняты 13 двухтрансформаторных ТП с трансформаторами мощностью 630 и 1000 кВА.

Для электрических сетей 10 кВ жилого квартала выбрана двухлучевая схема с двухсторонним питанием, позволяющая обеспечить надежным электроснабжением потребителей, относящихся ко всем трем категориям по надежности электроснабжения.

Для установки в распределительном пункте 10 кВ приняты к установке камеры типа КСО-298М-1000 выпускаемые Самарским заводом «Электрощит».

В трансформаторных подстанциях установлены силовые трансформаторы типа ТМГ, выпускаемые ООО «Тольяттинский трансформатор», выключатели нагрузки типа ВНП-10, разъединители типа РВ-10, автоматические выключатели типа ВА-СЭЩ, трансформаторы тока типа ТШЛ-0,66.

Выбраны сечения кабельных линий и токи расцепителей автоматических выключателей.

Произведен расчет значений расхода тепловой энергии, необходимой для отопления жилых домов, подключенных к одному ЦТП.

## Список используемых источников

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 03.04.2021).
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](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 25.06.2021).
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: 18.05.2021).
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 10.04.2021).
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: 13.03.2021).
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: 28.04.2021).

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.