

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 пятого квартала Автозаводского района г.Тольятти

Обучающийся

В.Е. Корнилов
(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.А. Андреев
(ученая степень, звание, И. О. Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Система электроснабжения города представляет собой сложную инженерную систему, предназначенную для обеспечения электрической энергией потребителей города. Жилые дома, торговые центры, социальные учреждения являются городскими потребителями, поэтому их система питания должна соответствовать и экономичности.

Таким образом проектирование системы электроснабжения занимает важнейшее место при вводе в эксплуатацию микрорайонов города.

Целью работы является разработка проекта электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти.

Для достижения цели необходимо:

- произвести расчет электрических нагрузок сооружений 5 квартала г. Тольятти;
- рассчитать показатели нагрузки систем наружного освещения выбранного квартала города;
- определить суммарную ожидаемую нагрузку 5 квартала г. Тольятти;
- выбрать номинальные значения напряжения и мощности трансформаторов;
- проанализировать существующие схемы и обосновать выбор питающих сетей 10 кВ;
- произвести расчет и проверку кабельных линий 5 квартала.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 57 стр., дополняемой 10 таблицами, 10 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика пятого квартала Автозаводского района г.Тольятти	6
2 Расчет показателей нагрузки МКД пятого квартала	8
3 Расчетная нагрузка административных зданий пятого квартала Автозаводского района г.Тольятти	16
4 Расчет показателей нагрузки системы внутриквартального освещения.....	19
5 Общие показатели нагрузок по пятому кварталу	22
6 Подбор количества и номинальной мощности трансформаторов для электроснабжения территории квартала.....	24
7 Выбор схемы распределительной сети 10 кВ пятого квартала	30
8 Выбор основного электрооборудования системы электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г.Тольятти	33
8.1 Выбор электрооборудования по стороне 10 кВ.....	33
8.2 Выбор кабельных линий и автоматических выключателей пятого квартала.....	37
9 Расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г.Тольятти.....	44
9.1 Расчет токов короткого замыкания на стороне 10 кВ	44
9.2 Расчет токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ	47
9.3 Проверка автоматических выключателей на устойчивость к электродинамическим воздействиям	53
Заключение	54
Список используемых источников.....	55

Введение

Современный этап развития и подъема энергетического комплекса в России заключается во внедрении высококлассной электрической аппаратуры и оборудования, линий автоматики и телемеханики. Следовательно, с помощью использования более новых и современных технологий в значительной степени происходит снижение электропотребления. Это наиболее важный и определяющий показатель уровня жизни общества.

«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» [5].

Актуальность данной темы обусловлена тем, что в городах необходимо обеспечение надёжного электроснабжения у конечных потребителей. В силу того, что в последние десятилетия многоквартирные дома (МКД) нуждаются в замене около 43 процентов сетей по всей стране, аварийность прежних сетей является следствием высокого износа. Также для повышения комфортности жилья ежегодно наблюдается рост использования мощной бытовой техники и устройств, а также в округах размещаются энергообъекты инфраструктуры: медицинские и образовательные учреждения, трансформаторные подстанции, насосные станции водопровода и канализации, спортивные центры, гостиницы, торговые комплексы и т.п. «Увеличение потребления электроэнергии населением повышает требования по надёжности и энергоэффективности сетей электроснабжения разного уровня – от электросетей крупных мегаполисов до сетей отдельных многоквартирных домов» [3,20].

Целью работы является разработка проекта электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти.

Задачи, стоящие при выполнении данной работы:

- произвести расчет электрических нагрузок сооружений 5 квартала г. Тольятти;
- рассчитать показатели нагрузки систем наружного освещения выбранного квартала города;
- определить суммарную ожидаемую нагрузку 5 квартала г. Тольятти;
- выбрать номинальные значения напряжения и мощности трансформаторов;
- проанализировать существующие схемы и обосновать выбор питающих сетей 10 кВ;
- произвести расчет и проверку кабельных линий 5 квартала.

1 Характеристика пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти

Пятый квартал расположен на западе Автозаводского района г. Тольятти. Общая площадь рассматриваемого участка 1,05 км². Выбранная зона граничит с 7 микрорайонами. Территория квартала является центром Автозаводского района в квадрате пересечений следующих улиц: с северной границы – улица Свердлова, с южной – Ленинский проспект, с западной граничит с центральной улицей города – Юбилейная, с Восточной – проспект Степана Разина. Внутри квартала пролегает бульвар Орджоникидзе. Карта пятого квартала приведена на рисунке 1.

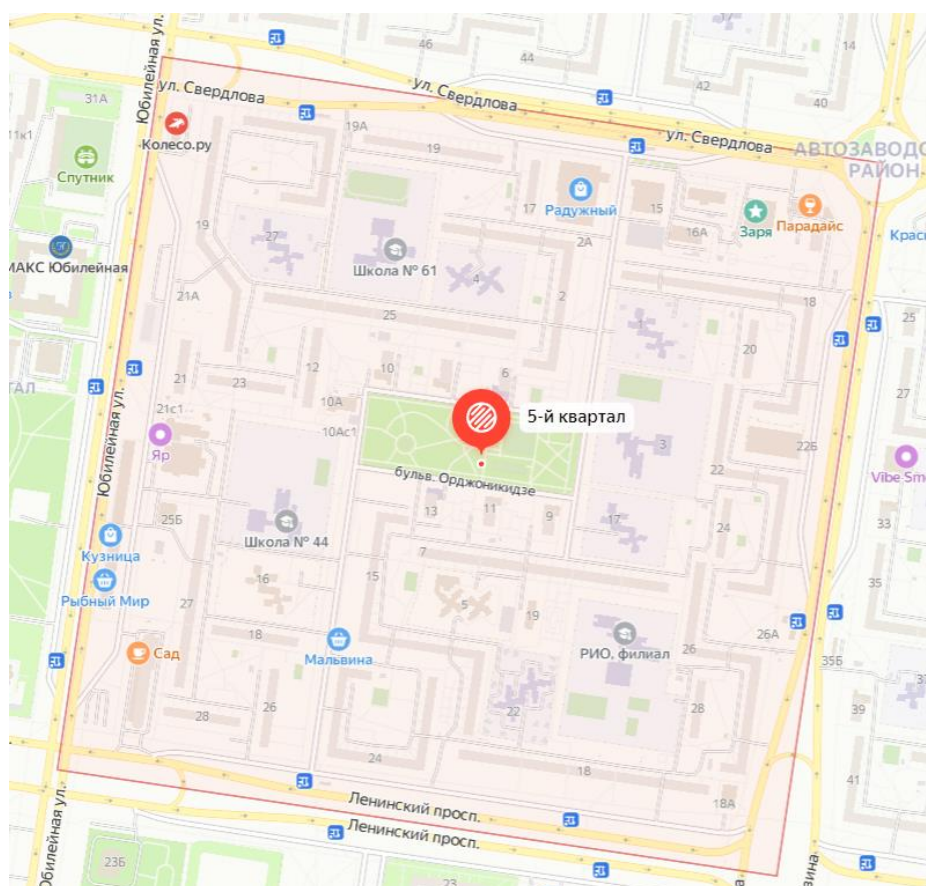


Рисунок 1 – Карта пятого квартала г. Тольятти

Таким образом, жилые многоквартирные дома этажностью от 5 до 19 этажей и административные постройки: учебные заведения, дошкольные

образовательные здания, торговые центры и универмаги, различные досуговые центры будут отнесены к основным конечным потребителям электроэнергии.

Исходя из показателя надежности электроснабжения потребителям выбранного квартала определяем II и III категорию надёжности, с некоторым включением элементов первого уровня.

Таким образом потребителям необходимо обеспечение электрической энергией от двух независимых источников. Силовые трансформаторы, установлены на первой генерирующей подстанции, куда в свою очередь поступает электричество от теплоэлектроцентрали ВАЗа.

Выводы по разделу 1.

Раскрыта объективная характеристика пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти и исходя из параметров надежности и стабильности выделены ключевые потребители электроэнергии, расположенные по периметру указанной площади.

2 Расчет показателей нагрузки МКД пятого квартала

Расчет электрических нагрузок производится от низших к высшим ступеням электроснабжения и включает два этапа:

- определение нагрузки на вводе к каждому потребителю;
- расчет на этой основе нагрузок отдельных элементов сети.

«Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир определяется по формуле» [15]:

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

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

$p_{уд.кв.}$ – удельная расчетная нагрузка квартиры, определяемая согласно таблице 6.1 из документа СП 31-110-2003 [20, с. 19], для квартир с электрическими плитами, мощностью 8,5 кВт.» [20].

«Применяя метод интерполяции – способ нахождения промежуточных значений» [9], вычисляются промежуточные удельные нагрузки квартир по следующей формуле:

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

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 6.1» [20].

Для жилого дома «Юбил.21» на 256 квартир производится расчет потребляемой нагрузки по формулам (2) и (1), соответственно:

$$P_{уд.кв.(256)} = 1,36 - \frac{1,36-1,27}{400-200} \cdot (256-200) = 1,33 \text{ кВт/кв.};$$

$$P_{р.кв.} = 1,33 \cdot 256 = 340,48 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка силовых электроприемников, приведенная к вводу жилого дома:

$$P_c = P_{р.л.} + P_{ст.у}, \quad (3)$$

где « $P_{р.л.}$ – мощность лифтовых установок;

$P_{ст.у}$ – мощность санитарно-технических установок» [15].

«Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок определяется по формуле» [15]:

$$P_{р.л.} = K_c \cdot \sum_1^N P_{р.л.i} = K_c \cdot (P_{л1} \cdot n_{нас} + P_{л2} \cdot n_{гр}); \quad (4)$$

$$P_{р.л.} = 0,8 \cdot (7 \cdot 2 + 11 \cdot 2) = 28,8 \text{ кВт},$$

где « K_c – коэффициент спроса лифтовых установок;

N – общее количество лифтовых установок в жилом доме;

$n_{нас}$, $n_{гр}$ – количество пассажирских и грузопассажирских лифтов соответственно» [1].

«Расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования» [15]:

$$P_{ст.у} = K_c'' \cdot \sum_1^N P'_{ст.у}; \quad (5)$$

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

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

Расчетная нагрузка силовых электроприемников (3):

$$P_c = 28,8 + 9 = 37,8 \text{ кВт.}$$

«Расчетная активная мощность на вводе жилого дома определяется по формуле» [15]:

$$P_{\text{р.ж.д.}} = P_{\text{р.кв.}} + k_y \cdot P_c, \quad (6)$$

$$P_{\text{р.ж.д.}} = 340,48 + 0,9 \cdot 37,8 = 374,5 \text{ кВт,}$$

где « k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников» [14].

Для подсчета общего значения реактивной мощности, потребляемой в жилом МКД, необходимо суммировать полученные значения реактивных мощностей по всем группам потребителей:

$$Q_{\text{р.ж.д.}} = Q_{\text{кв.}} + Q_{\text{р.л.}} + Q_{\text{ст.у.}} \quad (7)$$

Также необходимо отметить, что реактивную нагрузку квартир можно вычислить по нижеприведенной формуле:

$$Q_{\text{кв.}} = P_{\text{кв.}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

$$Q_{\text{кв.}} = 374,5 \cdot 0,2 = 74,9 \text{ квар.}$$

где « $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, определяемый по таблице 2.1.4» [1].

Аналогичным способом производится расчет реактивной мощности для лифтовых устройств:

$$Q_{\text{рл.}} = P_{\text{рл.}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{л}}, \quad (9)$$

$$Q_{\text{рл.}} = 28,8 \cdot 1,17 = 33,69 \text{ квар,}$$

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

Аналогично определяется реактивная мощность санитарно-технического комплекса:

$$Q_{\text{ст.у.}} = P_{\text{ст.у.}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ст.у.}}, \quad (10)$$

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

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

В результате чего следует, что общая реактивная нагрузка на вводе МКД составляет (7):

$$Q_{\text{р.ж.д.}} = 74,9 + 33,7 + 6,8 = 115,8 \text{ квар}.$$

Для получения итоговой цифры полной мощности нагрузки жилого дома и линии питания используется данная формула:

$$S = \frac{P_{\text{Р.Ж.Д.}}}{\cos \varphi}, \quad (11)$$

где « $\cos \varphi$ – коэффициент мощности для квартир с электрическими плитами» (согласно руководящему документу РД 34.20.185-94, табл. 2.1.4).

По вышеприведенной методике определяются значения расчетных нагрузок на ВРУ жилых многоквартирных домов пятого квартала и полученные данные заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные данные нагрузок потребителей МКД

Объект	Эт аж но сть	Nкв , шт	Руд. , кв	п п. л, шт	Р п. л, кВт	п гр.л. , шт	Р гр.л.у кВт	Кс л.	К с.ст	Рр.л кВт	п ст.к	Р' ст.к., кВт	Р ст.к., кВт	Р с., кВт	Р рас. кВт	Р р.ж. дкВт	Q р.ж.д., квар	S р.ж.д. ,кВа
Юб. 19	9	532	1,24	16	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	659,68	708, 1	200,8	722,6
Юб.29	9	112	1,48	-	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	165,76	214, 2	102,0	218,6
Юб.21	16	256	1,33	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	340,48	374, 5	115,3	382,1
Юб.27	9	388	1,28	16	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	496,64	545, 1	168,2	556,2
Юб.23	9	176	1,39	8	7	-	-	0, 5	1	28	2	4,5	9	37,0	244,64	277, 9	95,1	283,6
Лен. 28	9	180	1,39	6	7	-	-	0, 7	1	27,3	2	4,5	9	36,3	250,2	282, 9	95,3	288,6
Лен.26	9	180	1,39	6	7	-	-	0, 7	1	27,3	2	4,5	9	36,3	250,2	282, 9	95,3	288,6
Лен. 24	5	384	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	491,52	491, 5	98,3	501,6
Лен. 18	9	560	1,24	16	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	694,4	742, 8	207,7	758,0
Сверд. 17	16	256	1,33	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	340,48	374, 5	115,3	382,1
Сверд. 19	5	112	1,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165,76	165, 8	169,1	169,1
Сверд. 25	9	560	1,24	16	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	694,4	742, 8	207,7	543,1
Сверд. 29	5	259	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	344,47	344, 5	68,9	351,5

Продолжение таблицы 1

Объект	Эт аж но сть	Нкв , шт	Руд. , кв	п п. л, шт	Р п. л, кВт	п гр.л. , шт	Р гр.л.у. кВт	Кс .л.	К с.ст	Рр.л кВт	п ст.к	Р' ст.к., кВт	Р ст.к., кВт	Р с., кВт	Р рас. кВт	Р р.ж. дкВт	Q р.ж.д., квар	S р.ж.д. ,кВа
Ордж.2	5	379	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	485,12	485, 1	97,0	495,0
Ордж.6	14	94	1,53	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	143,82	177, 8	76,0	181,5
Ордж.7	9	560	1,24	16	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	694,4	742, 8	207,7	758,0
Ордж.8	14	94	1,53	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	143,82	177, 8	76,0	181,5
Ордж.9	14	94	1,53	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	143,82	177, 8	76,0	181,5
Ордж.1 0	14	94	1,53	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	143,82	177, 8	76,0	181,5
Ордж.1 1	14	94	1,53	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	143,82	177, 8	76,0	181,5
Ордж.1 2	9	180	1,39	8	7	-	-	0, 5	1	28	2	4,5	9	37,0	250,2	283, 5	96,2	289,3
Ордж.1 3	14	94	1,53	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	143,82	177, 8	76,0	181,5
Ордж.1 5	5	467	1,26	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	588,42	588, 4	117,7	600,4
Ордж.1 8	9	215	1,35	16	7	-	-	0, 4	1	44,8	2	4,5	9	53,8	290,25	338, 7	126,9	345,6
Ст. Разина 18	5	463	1,26	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	583,38	583, 4	116,7	595,3

Продолжение таблицы 1

Объект	Эт аж но сть	Нкв, шт	Руд , кв	п п. л., шт	Р п. л, кВт	п гр.л., шт	Р гр.л. кВт	Кс .л.	К с.ст	Рр.л кВт	п ст.у	Р' ст.у., кВт	Р ст.у., кВт	Р с., кВт	Р рас. кВт	Р р.ж. дкВ т	Q р.ж.д. ,квар	S р.ж.д. ,кВа
Ст. Разина 20	9	144	1,44	6	7	-	-	0, 7	1	27,3	2	4,5	9	36,3	207,36	240, 0	86,7	244,9
Ст. Разина 22	5	408	1,27	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	518,16	518, 2	103,6	528,7
Ст. Разина 24	9	144	1,44	4	7	-	-	0, 7	1	19,6	2	4,5	9	28,6	207,36	233, 1	76,3	237,9
Ст. Разина 26	5	378	1,28	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	483,84	483, 8	96,8	493,7
Ст. Разина 28	5	144	1,44	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	207,36	207, 4	41,5	211,6
Новая Заря	19	184	1,38	2	7	2	11	0, 8	1	28,8	2	4,5	9	37,8	253,92	287, 9	98,0	293,8
Общая нагрузка жилого фонда пятого квартала																		11629

Выводы по разделу 2.

В разделе на первом этапе изучены нормативные документы, определяющие расчеты нагрузок на вводе жилых домов и нагрузки по отдельным квартирам МКД пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти. Применен метод интерполяции для вычисления промежуточных удельных нагрузок количества квартир.

На втором этапе рассчитаны нагрузки подъёмно-транспортного оборудования, такого как пассажирские и грузоподъемные лифты, и санитарно-технические установки, выбранных потребителей.

Общее значение нагрузки определено суммированием данных. По итогам расчетов общая нагрузка жилого фонда пятого квартала составила 11629 кВА.

3 Расчетная нагрузка административных зданий пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти

В данном разделе производится расчет нагрузок для дошкольного образовательного учреждения СДОШ №115 «Салют». «Для определения нагрузок электроснабжения выбранного потребителя необходимо воспользоваться справочными материалами удельных электрических нагрузок» [12]:

$$P_{р.} = P_{уд.общ.} \cdot n , \quad (12)$$
$$P_{р.} = 0,46 \cdot 350 = 161 \text{ кВт},$$

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.» [6].

«Далее по нижеприведенной формуле рассчитывается реактивная нагрузка на вводе в постройку» [13]:

$$Q_{р.дошк.образ.уч.} = P_{р.дошк.образ.уч.} \cdot tg\varphi , \quad (13)$$
$$Q_{р.дошк.образ.уч.} = 161 \cdot 0,25 = 40,25 \text{ квар},$$

где « $tg\varphi$ – расчетный коэффициент реактивной мощности, определяемый по таблице 2.2.1» [2]:

Для определения полной мощности используются ранее найденные результаты активной и реактивной мощностей. Расчет производится по формуле:

$$S_{р.дошк.образ.уч.} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (14)$$

$$S_{p, \text{дошк.образ.уч.}} = \sqrt{161^2 + 40,25^2} = 166 \text{ кВА.}$$

По приведенной методике расчета аналогичным образом вычисляются нагрузки остальных, имеющиеся в квартале административных зданий и комплексов. Полученные данные заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные данные нагрузок административных зданий квартала

Объект	п	P _{уд.}	P _{р, кВт}	tgφ _{кв}	Q _{р., квар.}	S _{р., кВА}
СДОШ №115 «Салют»	350	0,46	161	0,25	40,25	166,0
Универсам	1080	0,16	172,8	0,48	82,94	191,7
СДОШ «Солнечный»	350	0,46	161	0,25	40,25	166,0
Организация по предоставлению социальных услуг населению	500	0,16	80	0,48	38,40	88,7
Маг. прод. товаров	200	0,25	50	0,75	37,50	62,5
Кафе	100	1,04	104	0,2	20,80	106,1
Организация по предоставлению ЖКХ	1000	0,043	43	0,48	20,64	47,7
Маг. самообслуживания	250	0,25	62,5	0,75	46,88	78,1
СДОШ «Волжаночка»	350	0,46	161	0,25	40,25	166,0
Гаражный комплекс	2000	0,043	86	0,48	41,28	95,4
Школа №44	1500	0,25	375	0,38	142,50	401,2
Аптечный пункт	50	0,16	8	0,48	3,84	8,9
Кафе	20	1,04	20,8	0,2	4,16	21,2
Рыночный комплекс	350	0,23	80,5	0,7	56,35	98,3
Школа №61	1500	0,25	375	0,38	142,50	401,2
Маг. непрод. товаров	150	0,25	37,5	0,75	28,13	46,9
Ветклиника	2000	0,054	108	0,57	61,56	124,3
Маг. прод. товаров	500	0,25	125	0,75	93,75	156,3
Комплекс по предоставлению различных услуг	1000	0,46	460	0,48	220,80	510,2
Аптечный пункт	100	0,16	16	0,48	7,68	17,7
Маг. самообслуживания	1000	0,16	160	0,48	76,80	177,5
Организация по обслуживанию автомобилей с автомойкой	350	0,16	56	0,48	26,88	62,1
Маг. прод. товаров	200	0,25	50	0,75	37,50	62,5

Продолжение таблицы 2

Объект	п	$P_{уд.}$	$P_p, \text{ кВт}$	$\text{tg}\varphi_{\text{кв}}$	$Q_{p., \text{ квар.}}$	$S_{p., \text{ кВА}}$
Почтовое отделение	200	0,16	32	0,48	15,36	35,5
Школа №41	1 500	0,25	375	0,38	142,50	401,2
Школа №50	1 500	0,25	375	0,38	142,50	401,2
СДОШ «Солнечный» №2	350	0,46	161	0,25	40,25	166,0
Организация по представлению услуг телевещания	1 500	0,16	240	0,48	115,20	266,2
гаражный комплекс «Сигнал»	1 000	0,043	43	0,48	20,64	47,7
Гаражный комплекс «Строитель»	1 000	0,043	43	0,48	20,64	47,7
Маг. прод. товаров	200	0,25	50	0,75	37,50	62,5
Кафе	20	1,04	20,8	0,2	4,16	21,2
Маг. непрод. товаров	1 080	0,16	172,8	0,48	82,94	191,7

Выводы по разделу 3.

С помощью справочной литературы об удельных показателях нагрузки для различных объектов определены нагрузки на вводах общественных объектов. Произведен подсчет активной и реактивной мощностей для всех общественных сооружений внутри пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти.

4 Расчет показателей нагрузки системы внутриквартального освещения

Одним из важных показателей комфорта и безопасности передвижения в темное время суток служит освещенность улиц и дорог. Наружное освещение должно быть равномерным, для полного исключения темных, неосвещенных зон.

«Свет – это электромагнитное излучение с длиной волны от 400 до 760 нм. Только в этих пределах излучение воспринимается человеческим глазом как световое ощущение. Условия освещенности улиц характеризуется степенью и яркостью освещаемой поверхности. Освещенность измеряется в люксах. 1 люкс – это освещенность поверхности 1 м², которая равномерно освещается световым потоком 1 лм» [8].

По степени освещенности городские улицы и шоссе делятся на категории, определяемые по справочным данным таблицы 59 [13].

Для последующих расчетов определяется нагрузка осветительных приборов уличного освещения проезжей части:

$$P_{p.дор.} = \sum_{i=1}^{ni} P_{уд.дор,i} \cdot L_{дор,i}; \quad (15)$$

где « $P_{уд.дор,i}$ – удельная расчетная нагрузка дорожного освещения;

$L_{дор,i}$ – длина улицы категории i » [5].

Исходные данные подставляются в вышеприведенную формулу (15):

$$P_{p.дор.} = 25 \cdot 1,025 \cdot 4 + 10 \cdot 1,224 = 115 \text{ кВт.}$$

Дорожные параметры улиц и полученные результаты расчета заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Категории улиц и данные нагрузки дорожного освещения

Название улицы	Категория	Длина, км	Уд. нагрузка, кВт/км	Расчетная мощность, кВт
Ул. Свердлова	Б	1,025	25	25,625
ул. Степана Разина	Б	1,025	25	25,625
пр. Ленинский	Б	1,025	25	25,625
ул. Юбилейная	Б	1,025	25	25,625
бул. Орджоникидзе	В	1,224	10	12,240
Общая расчетная мощность				114,740

Следовательно расчетная мощность осветительных приборов выбранного участка города равна:

$$P_{р.вк} = P_{уд.вк.} \cdot F_{мкр.}, \quad (16)$$

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

где « $P_{уд.вк.}$ – удельная расчетная нагрузка внутриквартального освещения;

$F_{мкр.}$ – общая площадь внутриквартальной территории микрорайона»

[6].

Далее определяется суммарная активная расчетная мощность выбранной системы освещения [16]:

$$P_{р.о.мкр.} = P_{р.дор.} + P_{р.вк.}, \quad (17)$$

$$P_{р.о.мкр.} = 115 + 120 = 235 \text{ кВт}.$$

В качестве светильников уличного освещения выбраны консольные светильники STL150W01 производства «Wolta». Светодионные лампы в данных светильниках имеют современный дизайн, выполнены в корпусе из алюминиевого сплава, что обеспечивает стойкость к коррозиям. К важным особенностям консольных приборов относится широкая осевая кривая силы света (КСС типа ШО), позволяющая направлять выходящий световой поток в нужном направлении.

Светодиодные консольные светильники STL150W01 имеют номинальный $\cos\varphi = 0,9$. Суммарная реактивная расчетная мощность выбранной системы освещения:

$$\begin{aligned} Q_{\text{р.о.мкр.}} &= P_{\text{р.дор.}} \cdot \operatorname{tg}\varphi + P_{\text{р.кв.о.}} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \\ Q_{\text{р.о.мкр.}} &= 115 \cdot 0,48 + 120 \cdot 0,48 = 112,8 \text{ квар.} \end{aligned} \quad (18)$$

Полная расчетная мощность системы наружного освещения:

$$\begin{aligned} S_{\text{р.о.мкр.}} &= \sqrt{P_{\text{р.о.мкр.}}^2 + Q_{\text{р.о.мкр.}}^2}, \\ S_{\text{р.о.мкр.}} &= \sqrt{235^2 + 112,8^2} = 261 \text{ кВА.} \end{aligned} \quad (19)$$

Исходя из приведенного анализа выбраны светильники WOLTA STL150W01 мощностью 150 Вт.

Выводы по разделу 4.

Произведен расчет нагрузок дорожного освещения, вычислена мощность осветительных приборов. Сделан выбор в пользу светодиодных консольных светильников WOLTA STL150W01.

5 Общие показатели нагрузок по пятому кварталу

«Расчетная активная нагрузка потребителей на шинах 0,4 кВ ТП определяется по формуле» [1]-[5]:

$$P_{\text{р.мкр.}} = P_{\text{р.нб.}} + \sum_1^n P_{\text{р.}i} \cdot K_{\text{у.}i}, \quad (20)$$

$$P_{\text{р.мкр.}} = 7778,97 \text{ кВт},$$

где « $P_{\text{р.нб.}}$ – наибольшее значение расчетной активной мощности одной из групп однородных потребителей;

$P_{\text{р.}i}$ – расчетная активная нагрузка остальных групп потребителей» [9].

«Расчетная реактивная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП» [1]:

$$Q_{\text{р.мкр.}} = P_{\text{р.зд.нб.}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{зд.нб.}} + \sum_1^n P_{\text{р.}i} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{зд.}i} \cdot K_{\text{у.}i}, \quad (21)$$

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

где « $K_{\text{у.}i}$ – коэффициент участия в максимуме нагрузки относительно выбранной наибольшей нагрузки, определяемый по справочной таблице 2.3.1 согласно инструкции по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.185-94;

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

$\text{tg}\varphi_{\text{зд.}i}$ – расчетный коэффициент реактивной мощности, соответствующий остальным группам потребителей» [8,17].

«Расчетная полная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП определяется по формуле» [1]:

$$S_{p.мкр.} = \sqrt{P_{p.мкр.}^2 + Q_{p.мкр.}^2} , \quad (22)$$

$$S_{p.мкр.} = \sqrt{7778,29^2 + 2577,29^2} = 8194,8 \text{ кВа.}$$

В ходе определения показателей общей нагрузки по жилому кварталу рассчитаны данные по активной, реактивной и полной мощностей выбранной территории, учитывая всех потребителей.

Выводы по разделу 5.

Суммарная нагрузка включает в себя нагрузки МКД, административных сооружений, общеобразовательных, дошкольных и прочих учреждений города. Найденные значения помогут сделать выбор оптимального количества и мощности трансформаторов для обеспечения бесперебойного напряжения.

6 Подбор количества и номинальной мощности трансформаторов для электроснабжения территории 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 составляет 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].

По исходным данным пятого квартала определяется мощность на единицу площади по формуле [23]:

$$\sigma = \frac{S_{p.мкр.}}{F_{мкр.}}, \quad (23)$$

$$\sigma = \frac{8194,8}{1,05} = 7805 \text{ кВА/км}^2,$$

где « $S_{p.мкр.}$ – расчетное значение полной нагрузки микрорайона;

$F_{мкр.}$ – площадь микрорайона» [23].

При этом мощность трансформаторов определяется как:

$$S_{тр.эк} = 1,45 \cdot \sqrt[3]{\sigma^2}, \quad (24)$$

$$S_{тр.эк} = 1,45 \cdot \sqrt[3]{7805^2} = 571 \text{ кВА.}$$

Поскольку конечные потребители квартала относятся ко второй категории надежности электроснабжения, то выбраны трансформаторы номинальной мощностью 630 кВА. Так как лифтовые механизмы в жилых зданиях относятся к первой категории надежности, то все трансформаторные подстанции будут оборудованы двумя трансформаторами.

Далее определяется количество трансформаторных подстанций для микрорайона [18]:

$$n_{\text{ТП}} = \frac{S_{\text{р.мкр.}}}{K_{\text{з}} \cdot S_{\text{ТП эк}}}, \quad (25)$$
$$n_{\text{ТП}} = \frac{8194,8}{0,6 \cdot 2 \cdot 630} = 12,7,$$

где « $K_{\text{з}}$ – коэффициент загрузки трансформаторов ТП в нормальном режиме» [1].

«Для создания условия надежности и эффективности коэффициент загрузки трансформаторов принимается равным 0,6» [9]. Это означает, что трансформаторы должны работать с нагрузкой, которая не превышает 60% от их номинальной мощности. Данная рекомендация основана на максимальной длительной перегрузке, установленной производителями силовых трансформаторов. Для обеспечения электроснабжения жилого квартала внутри него устанавливается 13 трансформаторных подстанций (ТП). Каждая подстанция оснащена двумя трансформаторами, что повышает надежность системы за счет резервирования.

Далее распределяются выбранные объекты исследования по подстанциям с учетом расчетной мощности и их месторасположением на плане. Рассмотрим распределение расчетных нагрузок для ТП №1. К данной ТП подключены следующие жилые дома: Юб. 19 и Юб.29, организация по обслуживанию автомобилей с автомойкой и дошкольное учреждение СДОШ №115. Для определения общей нагрузки ТП необходимо просуммировать расчетную нагрузку отдельных потребителей:

$$S_{\text{нагр}} = 708,1 + 344,5 + 320 + 161 = 790,59 \text{ кВА.}$$

«Коэффициент загрузки силовых трансформаторов ТП в нормальном режиме работы, учитывая включение всех трансформаторов по максимальному расчётному значению полной мощности» [20]:

$$K_3^H = \frac{S_{HAIP}}{S_{н.тр.} \cdot n} \quad (26)$$

$$K_3^H = \frac{790,59}{630 \cdot 2} = 0,62,$$

где « $S_{н.тр.}$ – номинальная мощность трансформатора;
 n – количество трансформаторов в ТП» [20].

«Далее необходимо вычислить коэффициент загрузки силовых трансформаторов ТП в послеаварийном режиме» [20]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_{HAIP}}{S_{н.тр.} \cdot (n - 1)} \quad (27)$$

$$K_3^{n.ав} = \frac{790,59}{630 \cdot (2 - 1)} = 1,25.$$

Для проверки полученного значения должно выполняться нижеприведенное равенство:

$$K_{ус.пред.} \geq K_3^{n.ав} \quad (28)$$

$$1,5 \geq 1,25,$$

где « $K_{ус.пред.}$ – допустимый коэффициент перегрузки трансформатора» [7].

Расчетные показатели нагрузок отдельных потребителей и мощности выбранных трансформаторов сведены в таблицу 4. Сокращенные наименования перенесены с таблиц 1 и 2.

Таблица 4 – Расчетные показатели нагрузок и определение трансформаторов

Номер ТП	Жилые объекты и общественные здания	Срасч, кВА	S _{нагр} , кВА	K ₃ ^н	K ₃ ^{п.ав}	S _{ном} , кВА
1	Юб. 19	722,55	1302,12	0,65	1,30	1000
	Сверд.29	351,50				
	организация по обслуживанию автомобилей с автомойкой	62,12				
	СДОШ №115	165,96				
2	Юб.23	283,61	921,30	0,73	1,46	630
	Ордж.12	289,29				
	маг. самообслуживания	78,13				
	Ветклиника	124,31				
	гаражный комплекс «Сигнал»	47,70				
	Рыночный комплекс	98,26				
3	Юб.27	556,18	1440,76	0,72	1,44	1000
	Юб.29	218,55				
	Лен.26	288,64				
	Лен. 28	288,64				
	организация по предоставлению социальных услуг населению	88,74				
4	Сверд.17	382,14	1495,57	0,75	1,50	1000
	Сверд.19	169,14				
	Сверд.25	543,12				
	Школа №61	401,16				
5	дом «Новая заря»	293,82	1316,26	0,66	1,32	1000
	Универсам	191,68				
	Организация по предоставлению ЖКХ	47,70				
	гаражный комплекс	95,39				
	аптечный пункт	8,87				
	кафе	106,06				
	комплекс по предоставлению различных услуг	510,25				
6	Ст. Разина18	595,29	1407,33	0,7	1,41	1000
	Ст. Разина20	244,93				
	СДОШ «Волжаночка»	165,96				
	Школа №41	401,16				
7	Ст. Разина22	528,73	1426,26	0,71	1,43	1000
	Ст. Разина24	237,86				
	Ст. Разина26	493,71				
	СДОШ «Солнечный» №2	165,96				

Продолжение таблицы 4

Номер ТП	Жилые объекты и общественные здания	С _{расч} , кВА	S _{нагр} , кВА	K ₃ ^н	K ₃ ^{п.ав}	S _{ном} , кВА
8	Ордж.2	495,02	1289,10	0,64	1,29	1000
	Ордж.6	181,47				
	Ордж.8	181,47				
	Ордж.10	181,47				
	кафе	21,21				
	СДОШ «Солнечный»	165,96				
	Маг. прод. Товаров	62,50				
9	Ордж.7	757,98	1432,97	0,72	1,43	1000
	Ордж.9	181,47				
	Ордж.11	181,47				
	Ордж.13	181,47				
	кафе	21,21				
	Маг. непрод. Товаров	46,88				
	Маг. прод. Товаров	62,50				
10	Лен. 18	757,98	1370,73	0,69	1,37	1000
	Ст. Разина28	211,59				
	Школа №50	401,16				
11	Ордж.18	345,58	802,49	0,64	1,27	630
	Маг. непрод. Товаров	46,88				
	Школа №44	401,16				
	Аптечный пункт	8,87				
12	Ордж.15	600,43	1403,69	0,70	1,40	1000
	Лен. 24	501,55				
	Организация по представлению услуг телевидения	266,22				
	Почтовое отделение	35,5				
13	Юб.21	382,14	1065,91	0,53	1,07	1000
	Маг. самообслуживания	78,13				
	гаражный комплекс	95,39				
	Комплекс по предоставлению различных услуг	510,25				

Задана оптимальная мощность силовых трансформаторов для их дальнейшей установки в трансформаторных подстанциях. Исходя из удельной плотности нагрузки к рекомендованная мощность трансформаторов составляет 630 кВА.

Исходя из проведенного расчета для отдельных ТП мощность силовых трансформаторов составляет 630 кВА и 1000 кВА соответственно.

После проведения расчетов и учета суммарной нагрузки жилого квартала было решено установить 13 двухтрансформаторных подстанций, для создания условия надежного и бесперебойного энергоснабжения потребителей.

Выбранный подход к данному решению позволит равномерно распределить нагрузку между жилым фондом и общественными зданиями. Полученные показатели расчета представлены в табличном виде по каждой трансформаторной подстанции с учетом определения коэффициентов загрузки силовых трансформаторов.

Выводы по разделу 6.

В данном разделе произведен расчет мощности трансформаторов для ТП пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти. Для всех трансформаторных подстанций рассчитан коэффициент загрузки, который полностью соответствуют предельно установленным значениям.

7 Выбор схемы распределительной сети 10 кВ пятого квартала

При проектировании схемы электроснабжения от подстанции до трансформаторной подстанции используются распределительные сети напряжением 6–10 кВ. «Конфигурация распределительной сети зависит от уровня надежности электропитания и территориального месторасположения потребителей относительно подстанции» [5].

«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» [6].

«Для обеспечения электроснабжения районов, где расположены электроприемники первой и второй категорий, убедительно прописывается использование следующей из схем: комбинированной петлевой и одно- или двухлучевой» [6]. Это приводит к созданию условий эффективного и надежного электроснабжения не только уже имеющимся потребителям, но и

для будущего развития инфраструктуры выбранной территории. В графическом виде такая схема продемонстрирована на рисунке 2.

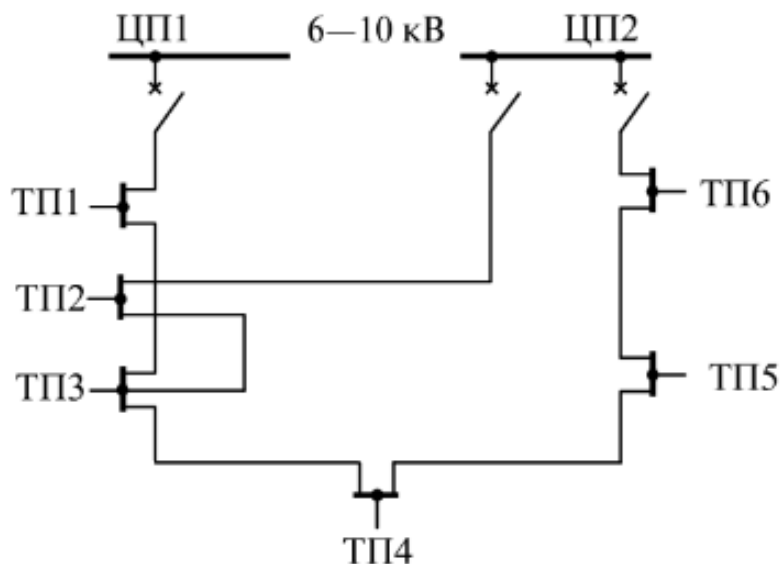


Рисунок 2 – Комбинированная петлевая и однолучевая конфигурация схемы

«Для распределительной сети микрорайонов с преобладанием электроприемников, относящихся к третьей категории по надежности рекомендуется использование петлевых схем» [22].

Для городских потребителей рекомендуемой схемой исполнения сети электроснабжения являются: радиальная, двухлучевая с односторонним питанием, двухлучевая с двухсторонним питанием, трехлучевая с двухсторонним питанием. Во всех вариантах предусмотрено автоматическое включение резервного питания (АВР). То есть работа в бесперебойном режиме обеспечена благодаря тому, что во всех схемах электроснабжение не прекращается при повреждении на линии 6-10 кВ или в трансформаторе.

«Для электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти выбрана двухлучевая схема с двухсторонним питанием (рисунке 3)» [3]. При данном варианте схемы применяются кабельные линии.

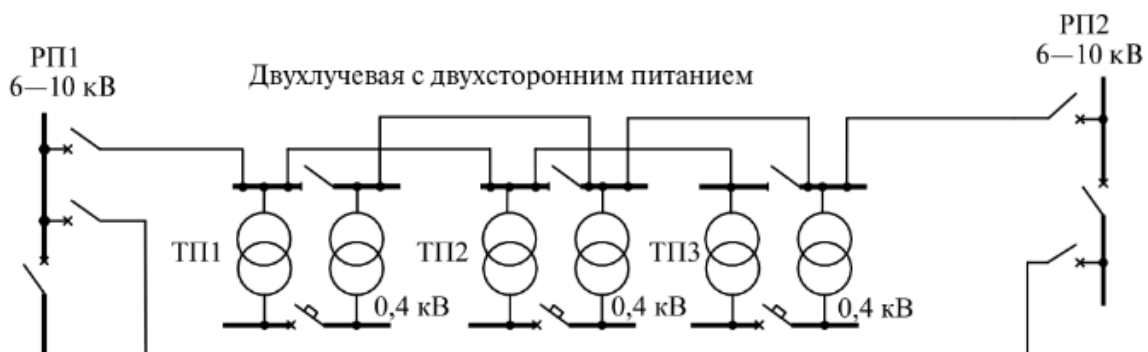


Рисунок 3 – Конфигурация двухлучевой схемы с двухсторонним питанием

Выводы по разделу 7.

Для распределительной сети напряжением 10 кВ пятого квартала Автозаводского района принимается двухлучевая конфигурация с двусторонним питанием. Выбранная схема соответствует всем рекомендациям и удовлетворяет условиям надежности электроснабжения для городских потребителей.

8 Выбор основного электрооборудования системы электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти

При выборе электрооборудования важно соблюдать условия эксплуатации, также возможность проведения ремонтов по замене отдельного оборудования. Эти вопросы особенно важны для ответственных потребителей, поскольку нерациональное использование электрооборудования может причинить серьезный ущерб.

Для определения типа оборудования стоит изучить технические параметры и режимы работы: мощности, силу тока и напряжения, после чего соотнести с условиями эксплуатации. Выполнение приведенного условия поможет исключить ошибки при эксплуатации электроприемников в среде, для которой они не специализированы.

При выпуске электротехнического оборудования промышленность принимает во внимание широтную зональность, поэтому оборудование классифицируется в зависимости от категории размещения: «У – с умеренным климатом, ХЛ – с холодным климатом, ТВ – с влажным тропическим климатом, Т – с сухим тропическим климатом, О – общеклиматического исполнения» [4].

8.1 Выбор электрооборудования по стороне 10 кВ

В распределительных устройствах 10 кВ трансформаторных подстанций предлагается установить камеру модернизированной модели одностороннего обслуживания в компактном исполнении КСО-298М-1000, производства Самарского завода «Электрощит». «Так же КСО-СЭЩ-298М можно использовать, при расширении и реконструкции подстанций. Типовая ширина камеры 750 мм и разработанный набор узлов позволяют применять данные камеры как для замены отслуживших свой срок эксплуатации камер КСО

различных серий (КСО-272, КСО-292, КСО-266, КСО-96 и многих других) при реконструкции подстанций, так и для расширения – установки дополнительных фидеров»[4]. Внешний вид указанной камеры представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Камера типа КСО-298М-1000

«Камера КСО-298М относится к объектам, имеющим высокую энергетическую эффективность в соответствии с Постановлением N 600 Правительства Российской Федерации от 17 июня 2015 г.» [19].

«Индикатор энергетической эффективности (ИЭЭФ) – потери не более 0,088 % от передаваемой мощности» [19]. Технические данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические данные КСО-298М

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение, кВ	6,0; 10,0
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12,0
Номинальная частота, Гц	50
Номинальный ток главных цепей КСО с вакуумным выключателем и разъединителем, А	630; 1000; 1600
Номинальный ток сборных шин, А	630; 1000; 1600
Номинальный первичный ток встроенных трансформаторов тока, А	10÷ 2000
Номинальный ток отключения встроенного вакуумного выключателя, кА	20

Перечень базовых приборов, входящих в КСО внесен в таблицу 6.

Таблица 6 – Оборудование КСО-298М

Наименование оборудование	Обозначение
Выключатели вакуумные	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000 У2, ВВЕ-СЭЩ-2-10-20(25)/630 (800,1250) У3
Защитное предохранительное устройство трансформаторов напряжения	ЗНОЛ-СЭЩ-6(10)-0,2/3-15/100
Трансформаторы тока	ТОЛ-СЭЩ-10-31(41)- У2 (с гибкими выводами вторичных обмоток для ячеек с выключателями ВВУ-СЭЩ и ВВЕ-СЭЩ)
Разъединитель	РВЗ-СЭЩ-10/630(1000)У2
Трансформатор собственных нужд	ТЛС-СЭЩ-25(40)/6(10) У2

В трансформаторных подстанциях используются трансформаторы марки ТМГ от компании «Тольяттинский трансформатор». Они хорошо зарекомендовали себя на рынке.

«Трехфазные трансформаторы типа ТМГ предназначены для преобразования, распределения и передачи электроэнергии в сетях энергосистем в условиях наружной или внутренней установки умеренного (от

плюс 40°C до минус 45°C) или холодного (от плюс 40°C до минус 60°C) климата»[4].

В таблице 7 приведены измеряемые параметры выбранных трансформаторов.

Таблица 7 – Параметры трансформаторов типа ТМГ

Тип трансформатора	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Масса, кг полная
	ВН	НН		Х.Х	КЗ	
ТМГ-630/10-У1	6; 6,3 10, 10,5	0,4	У/У _Н -0; У/З _Н -11	0,76	7,5	1760
ТМГ-1000/10-У1	6; 6,3 10, 10,5	0,4	У/У _Н -0; У/З _Н -11	1,06	9,8	2650

Внешняя конфигурация силовых трансформаторов типа ТМГ представлена на рисунке 5.



(а)



(б)

Рисунок 5 – Конструкции трансформаторов: а) ТМГ 630/6; б) ТМГ 1000/6.

«Также в трансформаторных подстанциях устанавливаются выключатели нагрузки модели ВНП-10, разъединители РВ-10, автоматические выключатели типа ВАС-СЭЩ и трансформаторы тока ТШЛ-0,66» [24].

8.2 Выбор кабельных линий и автоматических включателей пятого квартала

В данном разделе рассматриваются линии электропередач пятого квартала. Так как для городских условий больше подходят кабельные линии, то для них необходимо произвести расчет и выбрать оптимальное сечение. «При этом использование подземных кабельных линий требует больших затрат по сравнению с воздушными линиями из-за стоимости кабеля, земляных работ и прокладки» [3].

«Необходимым условием для бесперебойной работы кабельной сети будет являться прокладка и использование современных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена» [11].

Расчетный ток в линии определяется по формуле:

$$I_{расч} = \frac{S_{р.НАГР}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} \quad (29)$$

где « $S_{р.НАГР}$ – полная расчетная мощность на участке сети в нормальном режиме, кВА;

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение сети, $U_{НОМ} = 0,38$ кВ» [14].

Расчет производится для потребителя – школа №44, подключенного от трансформаторной подстанции. Нагрузка потребителей определяется исходя из того, что питание осуществляется по двум кабельным линиям:

$$S_p^H = \frac{Sp}{2}; \quad (30)$$

$$S_p^n = \frac{401,2}{2} = 200,6 \text{ кВА},$$

где « $S_{p.шк.}$ – полная расчетная мощность школы, кВА» [4].

Тогда расчетный ток будет равен (29):

$$I_p^n = \frac{200,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 305 \text{ А}.$$

Оптимальным выбором будет четырехжильный провод с медными жилами марки ПвБбШв (рисунок 6). «В данном кабеле изоляция между жилами выполнена из сшитого полиэтилена, а поясная изоляция из ПВХ-пластиката. Броня выполнена из двух стальных оцинкованных лент» [10].



Рисунок 6 – Форма сечения кабеля ПвБбШв

При правильно сделанном выборе сечения кабельной линии выполняется следующее условие:

$$I_{доп} \geq I_p^n, \quad (31)$$

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

«Для защиты кабельных проводов от токовых перегрузок установлено дополнительное оборудование на внутриквартальных трансформаторных станциях: автоматические выключатели от компании «Электрощит» моделей ВА-СЭЩ-TD100, TD160, TS250 и TS400» [4]. Полученные данные, рассчитанные по вышеприведенной методике, заносятся в таблицу 8, где указаны выбранные сечения кабельных линий и автоматических выключателей.

Таблица 8 – Данные сечений кабелей и автоматических выключателей 0,4 кВ

Номер ТП	Жилые объекты и общественные здания	$I_{расч}, A$	F, мм	$I_{доп}, A$	$I_{ном рас.}$ ав, А
1	Юб. 19	153	4×70	200	200
	Сверд.29	52	4×10	65	63
	организация по обслуживанию автомобилей с автомойкой	270	4×120	270	300
	СДОШ №115	126	4×35	135	160
2	Юб.23	72	4×16	90	80
	Ордж.12	73	4×16	90	80
	маг. самообслуживания	59	4×10	65	63
	Ветклиника	94	4×25	115	100
	гаражный комплекс «Сигнал»	36	-	-	-
	Рыночный комплекс	107	4×25	115	125
3	Юб.27	128	4×35	135	160
	Юб.29	77	4×16	90	80
	Лен.26	72	4×16	90	80
	Лен. 28	72	4×16	90	80
	гаражный комплекс «Строитель»	36	-	0	-
	организация по предоставлению социальных услуг населению	270	4×120	270	300
	гаражный комплекс	72	4×16	90	80
4	Сверд.17	88	4×16	90	80
	Сверд.19	39	-	-	-
	Сверд.25	158	4×95	240	250
	Школа №61	305	4×150	305	300
	Бизнес-центр «Потенциал»	262	4×120	270	300

Продолжение таблицы 8

Номер ТП	Жилые объекты и общественные здания	I _{расч} , А	F, мм	I _{доп} , А	I _{ном рас.} АВ, А
5	дом «Новая заря»	74	4×16	90	80
	Маг. непрод. товаров	146	4×70	200	200
	Организация по предоставлению ЖКХ	36	0	0	40
	гаражный комплекс	72	4×16	90	80
	аптечный пункт	7	-	-	-
	кафе	81	4×16	90	
	комплекс по предоставлению различных услуг	233	4×95 4×95	240	250
6	Ст. Разина18	89	4×16	90	
	Ст. Разина20	66	4×16	90	80
	СДОШ «Волжаночка»	126	4×35	135	160
	Школа №41	305	4×150	305	300
7	Ст. Разина22	79	4×16	90	80
	Ст. Разина24	58	4×10	65	63
	Ст. Разина26	74	4×16	90	80
	СДОШ «Солнечный» №2	126	4×35	135	160
	Маг. прод. Товаров	47	4×10	65	63
	Гаражный комплекс	72	4×16	90	80
8	Ордж.2	74	4×16	90	80
	Ордж.6	58	4×10	65	63
	Ордж.8	58	4×10	65	63
	Ордж.10	58	4×10	65	63
	Кафе	81	4×16	90	80
	СДОШ «Солнечный»	126	4×35	135	160
	Маг. прод. Товаров	47	4×10	65	63
9	Ордж.7	158	4×95	240	250
	Ордж.9	58	4×10	65	63
	Ордж.11	58	4×10	65	63
	Ордж.13	58	4×10	65	63
	кафе	81	4×16	90	80
	Маг. непрод. Товаров	146	4×70	200	200
	Маг. прод. Товаров	47	4×10	65	63
10	Лен. 18	158	4×95	240	250
	Ст. Разина28	32	-	-	-
	Школа №50	305	4×150	305	300
	Ордж.18	96	4×25	115	125
	Маг. непрод. Товаров	146	4×70	200	200
	Организация по представлению услуг телевидения	270	4×120 4×120	270	300
	Почтовое отделение	27	-	-	-

Продолжение таблицы 8

Номер ТП	Жилые объекты и общественные здания	I расч, А	F, мм	I доп, А	I ном рас. АВ, А
12	Ордж.15	89	4×16	90	80
	Лен. 24	75	4×16	90	80
	Школа №44	305	4×150	305	300
	Аптечный пункт	7	-	-	-
13	Юб.21	88	4×16	90	80
	Маг. самообслуживания	59	4×10	65	63
	гаражный комплекс	72	4×16	90	80

Для подключения к трансформаторным подстанциям, «учитывая все особенности конструкций для строящихся ТП напряжением 10 кВ, наилучшим вариантом будет выбор трехжильного кабеля марки ПвБП (рисунок 7). Выбранная линия представляет собой кабель с медными жилами, изолированными пероксидносшиваемым полиэтиленом, с внутренней оболочкой из ПВХ-пластиката, с броней из двух стальных оцинкованных лент и оболочкой из полиэтилена» [11].

«Вид климатического исполнения У, УХЛ, категории размещения 1 и 2 по ГОСТ 15150-69, включая прокладку в земле и воде» [11].

«Кабели предназначены для эксплуатации при прокладке в земле независимо от степени коррозионной активности грунтов. Срок службы кабеля ПвБП – не менее 30 лет» [11].



Рисунок 7 – Внешний вид кабеля ПвБП

Технические характеристики выбранного кабеля представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики кабеля ПвБП

Температурный режим работы:	от - 60°C до +50°C
Уровень относительной влажности воздуха при $T \leq 35^\circ\text{C}$:	до 98%
Способность проложить КЛ без предварительного подогрева при температурном режиме не ниже:	-20°C
Минимальный радиус изгиба:	10 наружных диаметров
$N_{\text{ном}}$:	50 Гц
T нагрева жилы кабеля длительно допустимая:	+90°C
T нагрева жилы кабеля при перегрузки, не должна превышать:	+130°C
T нагрева жилы кабеля при коротком замыкании, не должна превышать:	+250°C
Предельно допустимая T медного экрана кабеля при коротком замыкании:	+350°C
T нагрева жилы кабеля при КЗ с соблюдением условия его невосгораемости:	+400°C

Далее производятся расчеты для выбора сечений кабельных линий до ТП [17]. Сила тока в линии при аварийном режиме:

$$I_{AP} = \frac{S_{НАГР}}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}. \quad (32)$$

Длительно допустимая токовая нагрузка:

$$I_{дон} = \frac{I_{AP}}{k_{пер} \cdot k_{сн} \cdot k}, \quad (33)$$

где « $k_{пер}$ – коэффициент перегрузки, равный 1,13;

$k_{сн}$ – коэффициент снижения, равный 0,93;

k – поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (ПУЭ, табл. 1.3.26) » [21].

Расчет производится для всех кабельных линий в схеме распределительной сети 10 кВ. Результаты расчета заносятся в таблицу 10.

Таблица 10 – Данные выбора КЛ 10 кВ между ТП

Участок между ТП	Срасч, кВА	n	I расч, А	Iавр, А	Iдоп, А	Кабель
3-2	1440,76	2	69,32	138,64	143,39	ПвБП-3×70
2-1	2362,05	2	113,64	227,29	235,09	ПвБП-3×150
1-до распред. пункта	3664,18	2	176,29	352,59	364,68	ПвБП-3×240
6-5	1407,33	2	67,71	135,42	140,07	ПвБП-3×70
5-4	2723,60	2	131,04	262,08	271,07	ПвБП-3×70
распред. пункт -4	4219,17	2	202,99	405,99	419,92	ПвБП-3×240
9-8	1432,97	2	68,94	137,89	142,62	ПвБП-3×70
8-7	2722,07	2	130,97	261,93	270,92	ПвБП-3×185
7-10	4148,33	2	199,59	399,17	412,87	ПвБП-3×240
распред. пункт -10	4959,70	2	238,62	477,25	493,62	ПвБП-3×120
13-12	1117,56	2	53,77	107,54	111,23	ПвБП-3× 50
12-11	2521,26	2	121,30	242,61	250,93	ПвБП-3×150
распред. пункт -11	3332,62	2	160,34	320,68	331,68	ПвБП-3×240

Выводы по разделу 8.

В разделе выбраны сборные камеры одностороннего обслуживания типа КСО-298М-1000 от предприятия «Электрощит». В качестве коммутационных аппаратов выбраны автоматические выключатели ВА-СЭЩ-TD100, TD160, TS250 и TS400. Произведен расчет и выбор кабелей напряжением 0,4 кВ, а также кабелей 10 кВ, соединяющих ТП в единую распределительную сеть.

9 Расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти

«Расчет токов короткого замыкания (КЗ) выполняется 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» [1].

9.1 Расчет токов короткого замыкания на стороне 10 кВ

Для расчета токов КЗ необходимо рассмотреть эквивалентную схему распределительной сети, представленную на рисунке 8.

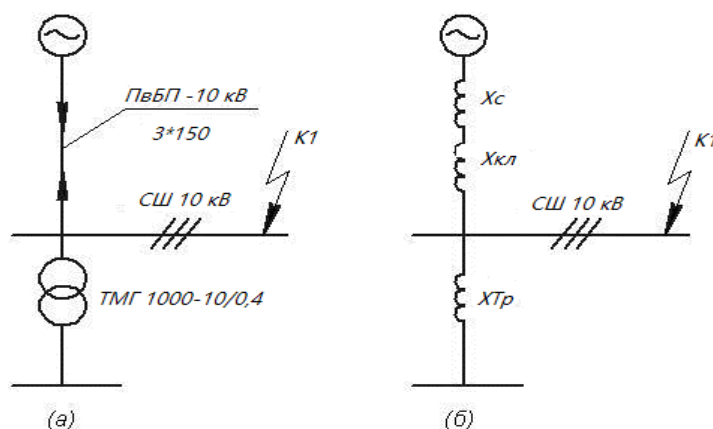


Рисунок 8 – Схемы сети КЗ на стороне 10 кВ: а) расчетная схема; б) эквивалентная схема

Исходными параметрами системы являются:

- базисная мощность ($S_{\bar{o}}$);
- номинальное напряжение (U_n);
- мощность короткого замыкания ($S_{\bar{o}}$).

Исходные характеристики КЛ-10 кВ берутся из справочника по электротехническому оборудованию [11]. Тогда сопротивление системы определяется как:

$$\begin{aligned} {}^*X_{c(\bar{o})} &= \frac{S_{\bar{o}}}{S_k}, \\ {}^*X_{c(\bar{o})} &= \frac{100}{200} = 0,5. \end{aligned} \quad (34)$$

Сопротивление кабельной линии 10 кВ:

$$\begin{aligned} {}^*X_{l(\bar{o})} &= X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_h^2}, \\ {}^*X_{l(\bar{o})} &= 0,085 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,035. \end{aligned} \quad (35)$$

Суммарное эквивалентное сопротивление до точки К1:

$$\begin{aligned} X_{\sum_{k1}} &= X_c + X_{kl}, \\ X_{\sum_{k1}} &= 0,5 + 0,035 = 0,535. \end{aligned} \quad (36)$$

Ток трехфазного КЗ в точке К1:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{X_{\sum_{k1}}}, \quad (37)$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{0,535} = 1,87.$$

Определяется базисный ток:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_n}, \quad (38)$$

$$I_{\sigma} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5.$$

Ток трехфазного КЗ в именованных единицах:

$$I_{k1, \kappa A}^{(3)} = I_{k1}^{(3)} \cdot I_{\sigma}, \quad (39)$$

$$I_{k1, \kappa A}^{(3)} = 1,87 \cdot 5,5 = 10,28 \text{ кА}.$$

Далее определяется ударный ток в точке К1:

$$i_{y\partial.k1} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}^{(3)}, \quad (40)$$

$$i_{y\partial.k1} = 1,75 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,87 = 4,63.$$

Значение ударного тока в именованных единицах:

$$I_{k1, \kappa A}^{(3)} = i_{y\partial.k1} \cdot I_{\sigma}, \quad (41)$$

$$I_{k1, \kappa A}^{(3)} = 4,63 \cdot 5,5 = 25,5 \text{ кА}.$$

Таким образом определено значение трехфазного тока КЗ, а также ударного тока, возникающего в момент замыкания.

9.2 Расчет токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ

Для расчета токов КЗ по стороне 0,4 кВ необходимо рассмотреть электрическую схему данного участка (рисунок 9).

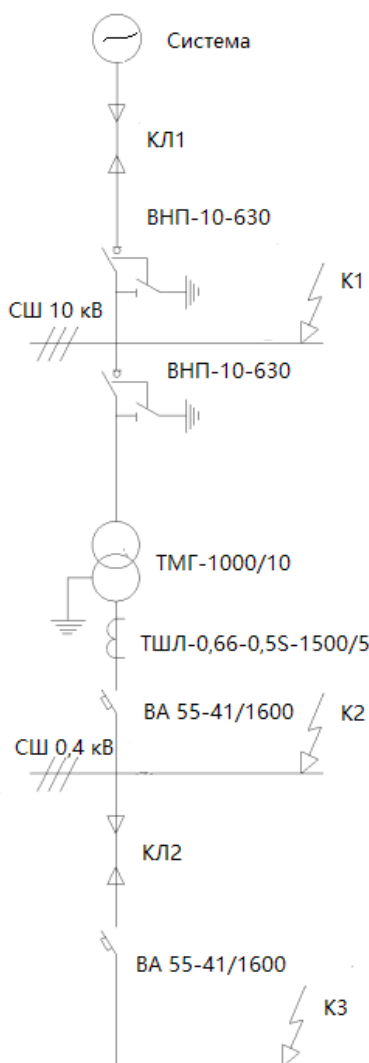


Рисунок 9 – Схема сети напряжением до 1000 В

По данной схеме строится эквивалентная схема замещения, где все элементы схемы представлены соответствующими сопротивлениями. Схема замещения рассматриваемого участка представлена на рисунке 10.

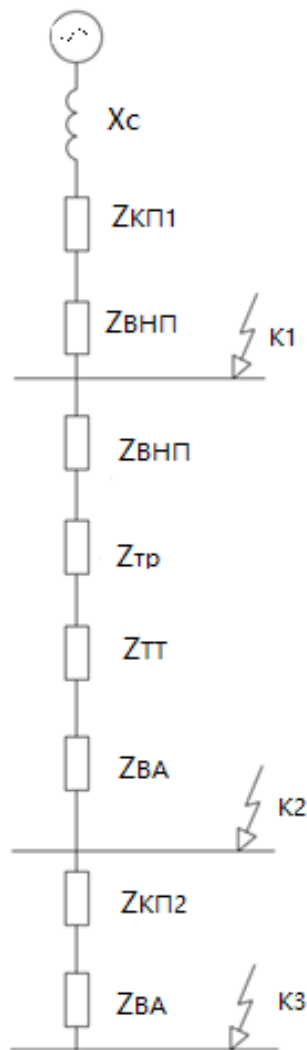


Рисунок 10 – Эквивалентная схема сети напряжением до 1000 В

Далее определяется общее сопротивление данной системы:

$$X_c = \frac{U_{\phi}}{S_{кз.сис}} \cdot 1000, \quad (42)$$

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

После этого производится расчет остальных элементов схемы. Сопротивление кабельной линии до точки К2 определяется по формуле:

$$R_{KЛ1} = R_{y0} \cdot 1 \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_n}\right)^2, \quad (43)$$

$$R_{KЛ1} = 0,264 \cdot 450 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,17 \text{ мОм.}$$

При этом исходные данные берутся для кабеля марки ПвБбШв [11].
Реактивное сопротивление данной кабельной линии:

$$X_{KЛ1} = X_{y0} \cdot 1 \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_n}\right)^2, \quad (44)$$

$$X_{KЛ1} = 0,079 \cdot 450 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,05 \text{ мОм,}$$

Производится расчет сопротивлений ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000 У2 согласно формуле:

$$R_{ВНП} = R_{y0} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_n}\right)^2, \quad (45)$$

$$R_{ВНП} = 0,41 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,59 \text{ мОм.}$$

Реактивное сопротивление определяется по формуле:

$$X_{ВНП} = X_{y0} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_n}\right)^2, \quad (46)$$

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

Далее определяются сопротивления силового трансформатора ТМГ.
Активное сопротивление определяется по формуле:

$$R_T = \frac{P_{K3} \cdot U_{н.НН}^2}{S_H^2} \cdot 10^6, \quad (47)$$

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

Полное сопротивление:

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_{н.НН}^2}{100 \cdot S_H} \cdot 10^4, \quad (48)$$

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

Реактивное сопротивление:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (49)$$

$$X_T = \sqrt{8,8^2 - 1,76^2} = 8,6 \text{ мОм.}$$

Определяется сопротивление автомата типа ВА-СЭЩ-AN16D. Исходные характеристики принимаемые для расчета: $I_H = 1600 \text{ А}$, $R_{BA} = 0,14 \text{ мОм}$, $X_{BA} = 0,08 \text{ мОм/м}$. Согласно информации из общедоступных источников, сопротивление внутреннее трансформатора тока равно: $R_{TT} = 0,02 \text{ мОм}$, $X_{TT} = 0,04 \text{ мОм}$.

Из технических данных, опубликованных на официальном веб-ресурсе производителя, были извлечены спецификации для кабельной линии, изготовленной из кабеля марки ПвБП: $l = 100 \text{ м}$, $R_{уд} = 0,256 \text{ мОм/м}$, $X_{уд} = 0,063 \text{ мОм/м}$. Тогда активное и реактивное сопротивление кабеля будет определяться как:

$$R_{KЛ1} = 100 \cdot 0,256 = 25,6 \text{ мОм};$$

$$X_{KЛ1} = 100 \cdot 0,063 = 6,3 \text{ мОм}.$$

Удельное сопротивление автомата ВА-СЭЩ-TS400: $X_{уд} = 0,2 \text{ мОм/м}$.

Ток короткого замыкания в точке К2 для трехфазной системы:

$$I_{\kappa\mu}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (50)$$

Общее активное и реактивное сопротивление до точки К2 определяется по формулам (51) и (52):

$$R_{\text{общ}2} = R_{KЛ1} + R_{ВНП} + R_T + R_{BA} + R_{TT}, \quad (51)$$

$$R_{\text{общ}2} = 0,17 + 0,59 + 1,76 + 0,14 + 0,02 = 2,7 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{общ}2} = X_C + X_{ВНП} + X_T + X_{BA} + X_{TT}, \quad (52)$$

$$X_{\text{общ}2} = 0,8 + 0,18 + 8,62 + 0,08 + 0,04 = 9,7 \text{ мОм};$$

Общее сопротивление до точки К2:

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\text{общ}1}^2 - X_{\text{общ}1}^2}, \quad (53)$$

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\text{общ}1}^2 - X_{\text{общ}1}^2} = 10,1 \text{ мОм}.$$

Короткое замыкание в трехфазной сети:

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa1}}, \quad (54)$$

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,1} = 23 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ определяется по формулам 40 и 52:

$$\frac{X \Sigma}{R \Sigma} = \frac{10}{2,7} = 3,7,$$

$$i_{уд.к1} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 23 = 42,3 \text{ кА.}$$

Общее сопротивление до точки КЗ определяется аналогично с учетом активного и реактивного сопротивления, рассчитываемого по формулам (51) и (52):

$$R_{общз} = 0,17 + 0,59 + 1,76 + 0,14 + 0,02 + 25,6 = 28,3 \text{ мОм};$$

$$X_{общз} = 0,8 + 0,18 + 8,62 + 0,08 + 0,04 + 6,3 + 0,2 + 0,2 = 16,4 \text{ мОм.}$$

Общее сопротивление до точки К2:

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{общз}^2 - X_{общз}^2} = 23,06 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного КЗ (54):

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,06} = 10 \text{ кА.}$$

Ударный ток (40):

$$i_{уд.к3} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 17 \text{ кА.}$$

Таким образом, рассчитаны общее сопротивление, ток КЗ и ударный ток до точки К2 и К3.

9.3 Проверка автоматических выключателей на устойчивость к электродинамическим воздействиям

При проверке на динамическую устойчивость должно выполняться следующее условие:

$$I_{\text{динам}} \geq i_{\text{уст}}, \quad (55)$$

где « $I_{\text{динам}}$ – ток динамической стойкости, кА» [21].

Ток динамической устойчивости коммутационного аппарата:

$$I_{\text{динам}} = n \cdot I_{\text{пкк}}, \quad (56)$$

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

где « $I_{\text{пкк}}$ – предельная коммутационная способность;

n – коэффициент, характеризующий отношение наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности аппарата» [21].

Тогда согласно условию (55):

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

При проверке выполняется заданное условие, что означает выбранный автоматический выключатель полностью удовлетворяет условиям.

Выводы по разделу 9.

Произведен расчет токов КЗ. Полученные параметры были использованы для проверки динамической устойчивости автоматических выключателей, выбранных для данной схемы электроснабжения.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был произведен расчет параметров системы электроснабжения пятого квартала Автозаводского района г. Тольятти. Подробно изучен план схемы электроснабжения пятого квартала, расположение зданий и потребителей электроэнергии.

Задачи, которые были поставлены в работе поставлены выполнены, а именно:

- произведен расчет электрических нагрузок сооружений 5 квартала г. Тольятти;
- рассчитаны показатели нагрузки систем наружного освещения выбранного квартала города;
- определена суммарная ожидаемая нагрузка 5 квартала г. Тольятти;
- выбраны номинальные значения напряжения и мощности трансформаторов;
- проанализирована и выбрана схема распределительной сети 10 кВ;
- произведен расчет и проверка кабельных линий 5 квартала.

При выполнении работы изучены современные виды трансформаторов и сделан выбор в пользу трансформаторов марки ТМГ, в распределительном устройстве напряжением 10 кВ для установки выбраны камеры сборные одностороннего обслуживания КСО-298М-1000.

В качестве схемы электроснабжения выбрана двухлучевая схема с двухсторонним питанием для сети напряжением 10 кВ. Такая схема обеспечивает надежное электропитание потребителей всех трех категорий по надежности электроснабжения.

Выполнены расчеты сечений кабелей, питающих ТП, а также токов срабатывания автоматических выключателей. Полученные значения были подвергнуты проверке на устойчивость к электродинамическим воздействиям в соответствии с результатами расчетов токов короткого замыкания.

Список используемых источников

1. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование: учебное пособие для вузов / И.И. Алиев - Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
2. Антонов, С.Н. Проектирование электроэнергетических систем: учебное пособие / С.Н. Антонов - Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
3. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник, 2-е изд., перераб. и доп. / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. 415 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/982211> (дата обращения 15.04.2024).
4. АО «ГК«Электрощит» - ТМ Самара»: [сайт]. URL: <https://www.electroshield.ru/>.
5. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения: электронное учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 15.04.2024).
6. Гальперин, М.В. Электротехника и электроника: учебник, 2-е изд. / М.В. Гальперин - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. 480 с.
7. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс]: учебное пособие (курс лекций) / М.И. Данилов, И.Г. Ромненко - Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 15.04.2024).
8. Дробов, А. В. Электроснабжение предприятий и гражданских зданий: учебное пособие / А. В. Дробов. - Минск : РИПО, 2018. 431 с.
9. Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.185-94. Утверждена: Министерством топлива и энергетики

Российской Федерации 07.07.94, Российским акционерным обществом энергетики и электрификации «ЕЭС России» 31.05.94. Инструкция вводится в действие с 01.01.95 г. взамен Инструкции по проектированию городских и поселковых электрических сетей, ВСН 97-83.

10. Кабельная поисковая система: [сайт]. URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyaczij-\(0,66;-1kv\)/vbbshv](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyaczij-(0,66;-1kv)/vbbshv).

11. Кабель.РФ: [сайт]. URL: https://cable.ru/cable/group-pvbp_description.php.

12. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг. - М.: ЁЁ Медиа, 2024. 381 с.

13. Ковязин, В. Ф. Инженерное обустройство территорий: учебное пособие / В. Ф. Ковязин. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. 480 с. - ISBN 978-5-8114-1860-2. - Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/212015> (дата обращения: 15.03.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

14. Комков, В.А. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. / В.А. Комков, Н.С. Тимахова - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.

15. Кудряков, А.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник / А.Г. Кудряков, В.Г. Сазкин - Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.

16. Мастепаненко, М.А. Введение в специальность. Электроэнергетика и электротехника: учеб. Пособие / М.А. Мастепаненко - Ставрополь: СтГАУ, 2015. 116 с.

17. Матаев, У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями): учебное пособие / У.М. Матаев - Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.

18. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. пособие / Г.Н. Ополева - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2019.

416 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003805> (дата обращения 15.04.2024).

19. Постановление Правительства РФ "Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности" от 17 июня 2015 г. N600 (ред. от 8.02.2022) // Гарант.

20. Рысев, П.В. Расчеты надежности при проектировании и эксплуатации объектов электроэнергетики: учебное пособие / П. В. Рысев, Д. В. Рысев, В. К. Федоров, А. О. Шепелев. - Омск: ОмГТУ, 2022. 122 с.

21. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М.: Госстрой РФ, 2004.

22. Старкова, Л.Е. Справочник цехового энергетика: учебно-практическое пособие / Л.Е. Старкова - М.: Инфра-Инженерия, 2013. 352 с.

23. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Я. Ушаков - Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 20.04.2024).

24. Хорольский В.Я. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, В.Г. Жданов - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.