

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 Московского района г. Санкт–Петербург

Обучающийся

С.А. Булкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Актуальность данной ВКР обусловлена необходимостью совершенствования системы электроснабжения Московского района г. Санкт-Петербурга с учетом его быстрого развития и увеличения потребления электроэнергии. «В данной работе рассматривается система электроснабжения Московского района г. Санкт-Петербург. Исследуются основные характеристики Московского района г. Санкт-Петербург, его технологические процессы и требования к электроснабжению» [25].

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения нового микрорайона в Московском районе города Санкт-Петербург, обеспечивающей эффективное и безопасное использование электроэнергии с учетом растущих потребностей района и требований нормативных документов.

«В работе проводится расчет электрических нагрузок, выбор оборудования, кабелей и трансформаторов. Учитываются требования по качеству электроэнергии и безопасности эксплуатации системы электроснабжения Московского района г. Санкт-Петербург. В результате предлагается оптимальная схема электроснабжения Московского района г. Санкт-Петербург с учетом всех необходимых требований и нормативов.

Кроме того, проведен расчет молниезащиты и заземления ТП Московского района г. Санкт-Петербург.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, восьми разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 72 листах формата А4, содержит 15 таблиц и 11 рисунков» [25].

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей города.....	6
2 Расчет электрических нагрузок города	10
2.1 Расчет электрических нагрузок жилых зданий.....	10
2.2 Расчет электрических нагрузок общественных зданий.....	15
2.3 Итоговые данные о потребляемой мощности в проектируемом районе	18
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	22
3.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ	22
3.2 Выбор схемы электроснабжения района.....	23
3.3 Расчет затрат на строительство распределительной сети 10 кВ	28
3.4 Сравнение вариантов электроснабжения	33
4 Расчет токов короткого замыкания	34
5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников.....	37
6 Выбор основного электрооборудования и его проверка.....	40
7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	51
8 Расчет заземления и молниезащиты.....	60
8.1 Расчет заземления.....	60
8.2 Расчет заземления.....	65
Заключение	67
Список используемой литературы и используемых источников	70

Введение

Электроснабжение является одной из ключевых составляющих современного общества, обеспечивая энергией предприятия, жилые дома, социальные объекты и все остальные сферы жизни. Эффективное и надежное электроснабжение является гарантией стабильного развития и функционирования всех отраслей экономики.

В данном исследовании будет рассмотрено электроснабжение Московского района г. Санкт-Петербург, одного из крупнейших и наиболее значимых районов города с точки зрения промышленного и социального развития.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения нового микрорайона в Московском районе города Санкт-Петербург, обеспечивающей эффективное и безопасное использование электроэнергии с учетом растущих потребностей района и требований нормативных документов.

Предметом исследования ВКР является система электроснабжения нового микрорайона в Московском районе города Санкт-Петербург.

Объектом исследования является система электроснабжения города Санкт-Петербург

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- провести анализ исходных данных по электроснабжению потребителей города;
- выполнить расчет электрических нагрузок города;
- выбрать число и мощность трансформаторов;
- выбрать электрические аппараты и проводники;
- выбрать основное электрооборудование;
- выбрать устройства релейной защиты и автоматики;
- рассчитать заземление и молниезащиту.

Методы исследования, используемые в данной ВКР, включают анализ нормативно-правовой базы, статистический анализ, проведение экспертных оценок, а также применение современных методов и инструментов для анализа и оптимизации систем электроснабжения.

Работа будет основана на изучении нормативно-правовой базы в области электроснабжения, анализе статистических данных, проведении экспертных оценок и применении современных методов и инструментов для анализа и оптимизации системы электроснабжения. В результате исследования будут предложены конкретные рекомендации по улучшению системы электроснабжения Московского района, что позволит обеспечить надежность, эффективность и безопасность электроснабжения для всех потребителей района.

Теоретическая значимость данной ВКР заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения вопросов электроснабжения Московского района г. Санкт-Петербурга, а также для разработки рекомендаций по улучшению и модернизации системы электроснабжения других районов и городов. Также полученные данные могут быть полезны для студентов, обучающихся по направлениям, связанным с электроснабжением, при изучении современных систем электроснабжения и методов их анализа.

Практическая значимость данной ВКР заключается в возможности применения полученных результатов для решения конкретных задач по электроснабжению Московского района г. Санкт-Петербурга. Разработанные рекомендации по улучшению и модернизации системы электроснабжения могут быть использованы органами власти и энергетическими компаниями для повышения эффективности и надежности электроснабжения района. Кроме того, результаты исследования могут быть полезны специалистам, занимающимся проектированием и эксплуатацией систем электроснабжения, а также студентам, обучающимся по соответствующим специальностям.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей города

Электроснабжение потребителей является одной из ключевых задач современного общества. Особенно остро эта проблема стоит в городах, где плотность населения и количество потребителей электроэнергии значительно выше, чем в сельской местности. Микрорайоны города представляют собой сложные системы, состоящие из множества потребителей, различных по своим характеристикам и требованиям к электроснабжению.

Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей микрорайона города «является важным этапом при проектировании и модернизации систем электроснабжения. Он позволяет определить» [25] основные параметры и характеристики потребителей, оценить их потребности в электрической энергии, а также выявить возможные проблемы и ограничения. Полученные данные играют важную роль в оптимизации и разработке новых стратегий энергетического обеспечения города с учетом его развития и роста потребления.

Целью данного раздела ВКР является анализ исходных данных по электроснабжению потребителей микрорайона города и выявление основных проблем и возможностей для улучшения системы электроснабжения.

Электроснабжение жилого района (ЖР) предполагается от ПС 220/35/10 кВ «Парголово». Расстояние от ПС 220/35/10 кВ «Парголово» до РП, от которого предусматривается подключение трансформаторных подстанций рассматриваемого микрорайона составляет 14 км. Мощность КЗ на шинах 10 кВ ПС 220/35/10 кВ «Парголово» составляет $S_{кз}=2000$ МВА.

Электрическая схема ПС 220/35/10 кВ «Парголово» приведена на рисунке 1.

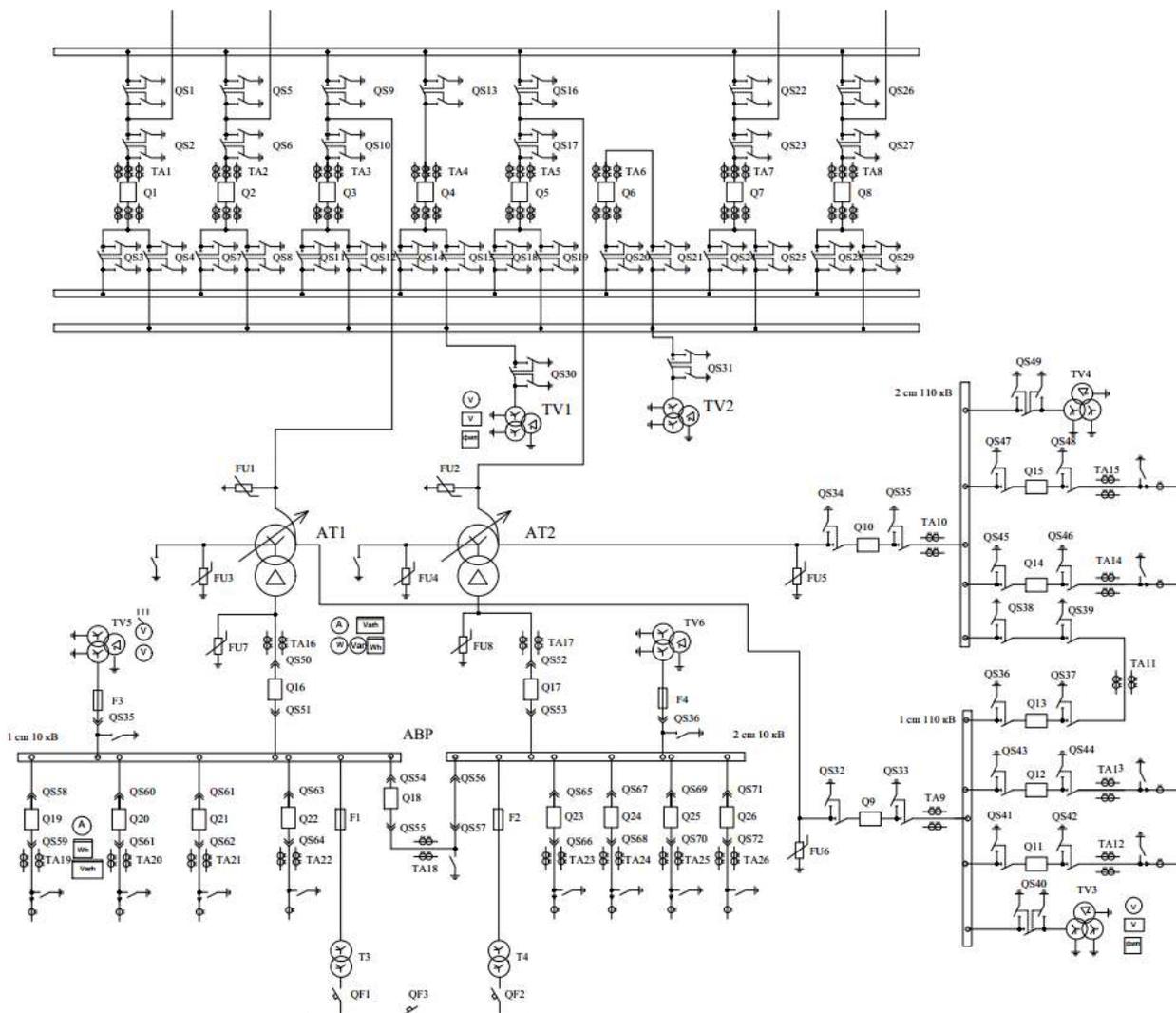


Рисунок 1 – Электрическая схема ПС 220/35/10 кВ «Парголово»

Питание потребителей рассматриваемого района предполагается по «распределительным сетям напряжением 10/0,4 кВ.

На территории рассматриваемого жилого района располагаются двенадцатиэтажные, четырнадцатиэтажные и семнадцатиэтажные дома, которые оборудованы электрическими плитами. На территории рассматриваемого жилого района также располагаются общественные здания. Горячее водоснабжение и отопление зданий района выполняется от собственной котельной, которая расположена также на территории района.

Схема застройки района показана на рисунке 2» [2].

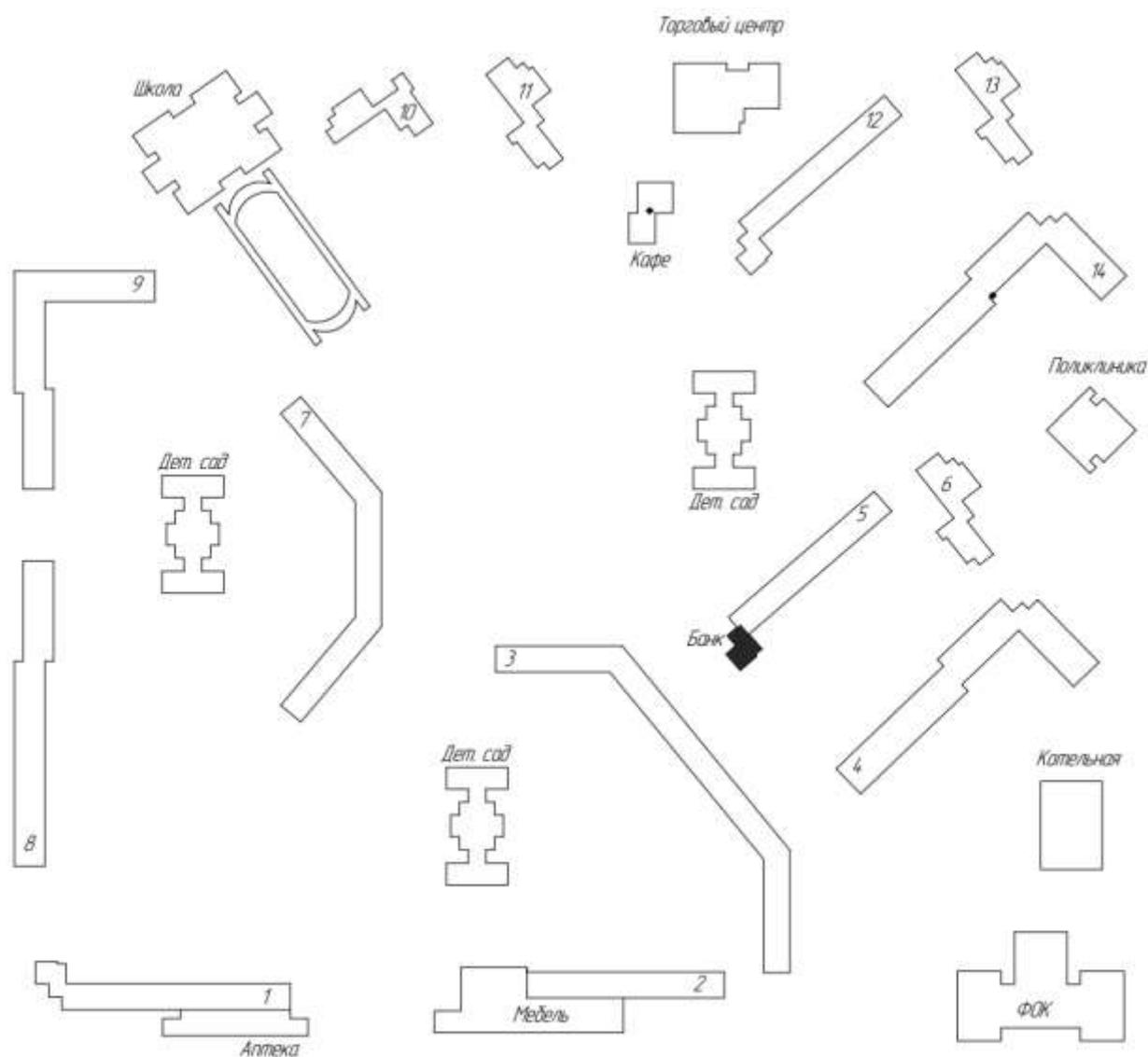


Рисунок 2 – Схема застройки жилого района

Потребители электроэнергии в жилом районе включают в себя различные категории населения и объекты, которые используют электричество для своих повседневных потребностей. Жилые дома и квартиры являются главной категорией потребителей в жилом районе. Сюда входят семьи, индивидуальные жители и арендаторы, которые используют электроэнергию для освещения, отопления, горячей воды, приготовления пищи и других бытовых нужд.

«Перечень и краткая характеристика зданий жилого района представлены в таблице 1» [6].

Таблица 1 – Потребители электроэнергии жилого района

№ здания	тип здания	количественный показатель
Жилые здания		
1, 2, 3	жилые дома типовой застройки	17 этажей; лифты: 2×7 кВт на 1 секцию
4,5,6,7,8,9,10,11		12 этажей; лифты: 2×4,5 кВт на 1 секцию
12, 13, 14		14 этажей; лифты: 2×7 кВт на 1 секцию
Коммунально–бытовые потребители		
Обозначение на плане	Характеристика	
Аптека	Руст=25 кВт	
Мебель	S=1724 м ²	
Банк	Руст=25 кВт	
Поликлиника	Руст=250 кВт	
Кафе	50 человек	
Котельная	Руст=100 кВт	
Торговый центр	S=2625 м ²	
Спорткомплекс (ФОК)	Руст=350 кВт	

Кроме того, на территории микрорайона планируется сооружение трёх детских садов, рассчитанных на 150 человек каждый, и одна школа, рассчитанная на 1100 учащихся.

Выводы по разделу 1

В первом разделе ВКР проведен анализ исходных данных по электроснабжению потребителей города. Приведена электрическая схема ПС 220/35/10 кВ «Парголово», от которой подключен рассматриваемый микрорайон. Проведенный анализ исходных данных по электроснабжению города позволил получить глубокое понимание текущего состояния системы электроснабжения и ее потребностей. Полученные результаты будут использованы в дальнейшем проектировании и оптимизации электрической инфраструктуры с целью обеспечения стабильного, эффективного и устойчивого электроснабжения для всех категорий потребителей города. Данный анализ является основой для разработки конкретных решений и мероприятий по совершенствованию энергетической системы в будущем.

2 Расчет электрических нагрузок города

2.1 Расчет электрических нагрузок жилых зданий

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается расчет электрических нагрузок для жилых зданий микрорайона. Электрическая нагрузка – это суммарное потребление энергии электроприборами и устройствами в здании, которое определяет необходимую мощность электрической сети.

Цель данного раздела заключается в определении требуемой мощности и характеристик электроснабжения для обеспечения надлежащего функционирования электрических систем в жилых зданиях микрорайона. Расчет электрических нагрузок включает оценку типов и количества электроприборов, освещения, отопления, кондиционирования воздуха, а также учет особенностей бытовых электропотребителей.

В процессе изучения данной темы будут рассмотрены основные аспекты, влияющие на расчет электрических нагрузок, «включая нормативные требования, методики оценки нагрузок, факторы учета специфики использования электроприборов и распределение нагрузок по различным частям жилого здания.

Расчет ЭН «городских потребителей произведем согласно» [15], [18], [21].

«Расчетная активная ЭН от квартир на вводе в здание, при напряжении 0,4 кВ вычисляется в зависимости от количества квартир по выражению» [2]:

$$P_{p(кв)} = P_{кв, уд} n_{кв}, \quad (1)$$

где $P_{кв, уд}$ – удельная расчетная ЭН квартиры [15], [18], [21], кВт;

$n_{кв}$ – количество квартир.

«Расчетная ЭН на вводе жилого здания» [15]:

$$P_{p(ж,зд)} = P_{p(кв)} + k_{н,м} P_c, \quad (2)$$

где P_c – «расчетная ЭН силовых электроприемников жилого здания, кВт;
 $k_{н,м}$ – коэффициент, учитывающий несовпадение максимумов ЭН квартир и силовых электроприемников, принимается 0,9» [15].

Расчетная ЭН силовых электроприемников P_c на вводе в здание состоит из нагрузки различных санитарно–технических устройств здания, а также мощности лифтовых установок [15]:

$$P_{p(л)} = k_{с(л)} \sum_{i=1}^{n_l} P_{л(i)}, \quad (3)$$

где $k_{с(л)}$ – «коэффициент спроса лифтовых установок;

n_l – количество лифтов;

$P_{л(i)}$ – установленная мощность электрического двигателя i -й лифтовой установки, кВт» [15];

Чтобы рассчитать общую расчетную электрическую нагрузку от силовых электроприемников на вводе здания, необходимо суммировать мощности всех перечисленных выше устройств, которые будут одновременно подключены к электросети. Важно учитывать эффективность работы этих устройств, их режим работы (например, постоянная или временная нагрузка) и возможные пики потребления мощности во время работы.

Полная расчетная ЭН жилых зданий вычисляется с учетом средневзвешенных коэффициентов мощности» [15], [18], [21]:

$$S_{p(ж,зд)} = \sqrt{\left(P_{p(кв)} + k_{н,м} P_c\right)^2 + \left(P_{p(кв)} \operatorname{tg} \varphi_{кв} + k_{н,м} P_c \operatorname{tg} \varphi_c\right)^2}, \quad (4)$$

где $tg\varphi_{кв}$ – «средневзвешенный коэффициент мощности квартир [18];
 $tg\varphi_c$ – номинальный коэффициент мощности силовых электроприемников» [18].

«В качестве примера рассчитаем электрическую нагрузку на вводе для семнадцатизэтажного дома № 2. В этом доме имеется магазин «Мебель» с площадью торгового зала $S=1724$ м², а также 204 жилые квартиры, расположенные на всех этажах. В доме используются электрические плиты для приготовления пищи. Кроме того, установлено шесть лифтовых установок общей установленной мощностью 42 кВт» [18].

Согласно СП 256.1325800.2016 для данного дома

$$P_{кв.уд} = 1,0 \text{ кВт},$$
$$\cos\varphi_{кв} = 0,98.$$

«Тогда расчетная мощность квартир на вводе в здание составляет» [15]:

$$P_{p(кв)} = 1,0 \cdot 204 = 204 \text{ кВт};$$
$$Q_{p(кв)} = 204 \cdot 0,2 = 40,8 \text{ квар.}$$

«Коэффициент спроса лифтов при наличии шести лифтовых установок принимается 0,75 при коэффициенте мощности $\cos\varphi_{л} = 0,65$. Тогда расчетная мощность лифтовых установок составляет» [15]:

$$P_{p(л)} = 0,75 \cdot 42 = 31,5 \text{ кВт};$$
$$Q_{p(л)} = 31,5 \cdot 1,17 = 36,86 \text{ квар.}$$

«Мощность СТУ» [15]:

$$P_{см.у} = 0,05 \cdot n_{кв} ; \quad (5)$$

$$P_{см.у} = 0,05 \cdot 204 = 10,2 \text{ кВт} ,$$

$$Q_{см.у} = P_{см.у} \cdot \text{tg}\varphi; \quad (6)$$

$$Q_{см.у} = 10,2 \cdot 0,75 = 7,65 \text{ квар.}$$

«Расчетная ЭН силовых электроприемников P_c на вводе в здание составит» [15]:

$$P_c = 31,5 + 10,2 = 41,7 \text{ кВт.}$$

«Расчетная ЭН на вводе жилого здания» [15]:

$$P_{p(ж.зд)} = 204 + 0,9 \cdot 41,7 = 241,53 \text{ кВт};$$

$$Q_{p(ж.зд)} = 40,8 + 0,9 \cdot (36,86 + 7,65) = 80,86 \text{ квар.}$$

$$S_{p(ж.зд)} = \sqrt{241,53^2 + 80,86^2} = 254,70 \text{ кВА}$$

«Расчет ЭН остальных зданий аналогичен и представлен в таблице 2» [15]. В результате расчетов была определена общая электрическая нагрузка жилых зданий микрорайона. Проведение расчета общей электрической нагрузки жилых зданий микрорайона является важным этапом при проектировании электроснабжения данной территории. Полученные результаты позволяют оценить общее электропотребление в микрорайоне и определить необходимую мощность электрической сети для обеспечения надежной работы.

Таблица 2 – Расчет нагрузок жилых домов

№ дома	Число этажей	Число квартир	Кол-во лифтов	Мощность одного лифта, кВт	Удельная мощность одной квартиры	$\cos\varphi$	$P_{кв},$ кВт	$Q_{кв},$ кВАр	$P_{р(л)},$ кВт	$Q_{р(л)},$ кВАр	$P_c,$ кВА	$Q_c,$ кВАр	$P_{р(ж.зд)},$ кВт	$Q_{р(ж.зд)},$ кВАр	$S_{р(ж.зд)},$ кВА
1	17	204	6	7	1	0,98	204	40,8	31,5	36,86	41,7	44,51	241,53	80,85	254,70
2	17	204	6	7			204	40,8	31,5	36,86	41,7	44,51	241,53	80,85	254,70
3	17	204	6	7			204	40,8	31,5	36,86	41,7	44,51	241,53	80,85	254,70
4	12	144	6	7			144	28,8	31,5	36,86	38,7	42,26	178,83	66,83	190,91
5	12	288	12	4,5			288	57,6	21,6	25,27	36,0	36,07	320,40	90,06	332,82
6	12	288	12	4,5			288	57,6	21,6	25,27	36,0	36,07	320,40	90,06	332,82
7	12	192	8	4,5			192	38,4	18,0	21,06	27,6	28,26	216,84	63,83	226,04
8	12	288	12	4,5			288	57,6	21,6	25,27	36,0	36,07	320,40	90,06	332,82
9	12	240	10	4,5			240	48,0	22,5	26,33	34,5	35,33	271,05	79,79	282,55
10	12	288	12	4,5			288	57,6	21,6	25,27	36,0	36,07	320,40	90,06	332,82
11	12	192	8	4,5			192	38,4	18,0	21,06	27,6	28,26	216,84	63,83	226,04
12	14	336	12	4,5			336	67,2	21,6	25,27	38,4	37,87	370,56	101,28	384,15
13	14	280	10	7			280	56,0	42,0	49,14	56,0	59,64	330,40	109,68	348,13
14	14	448	16	7			448	89,6	56,0	65,52	78,4	82,32	518,56	163,69	543,78
Итого	–	3596	136	–	–	–	–	–	390,5	456,8	570,3	591,7	4109,27	1251,76	–
Итого с (Км) = 0,9															3867,2

2.2 Расчет электрических нагрузок общественных зданий

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается важный аспект проектирования электроснабжения общественных зданий – расчет электрических нагрузок. Электрическая нагрузка представляет собой суммарное энергопотребление электрических устройств и оборудования в здании, которое определяет требуемую мощность и характеристики электрической сети.

Цель данного раздела заключается в определении электрических нагрузок для обеспечения надежного и эффективного функционирования общественных зданий микрорайона Московского района г. Санкт–Петербург. «Это включает в себя оценку потребления энергии различными типами электроприборов, осветительных систем, систем вентиляции, кондиционирования воздуха, лифтов, а также других систем и оборудования» [15], характерных для общественных сооружений.

«В процессе изучения данной темы будут рассмотрены основные аспекты, влияющие на расчет электрических нагрузок общественных зданий, включая нормативные требования, методики оценки нагрузок, анализ типов электропотребителей и их режимов работы» [15].

Анализируя электрические нагрузки общественных зданий, можно оптимизировать процессы энергопотребления, что имеет важное значение для экономии ресурсов и снижения эксплуатационных затрат.

«Расчетные ЭН на вводе в общественные здания или встроенные в жилые дома организации вычисляются по укрупненным удельным ЭН» [15], [18], [21]:

$$P_{p(\text{общ})} = P_{p(\text{пр})} = P_{\text{уд, пр}} M, \quad (7)$$

где $P_{\text{уд, пр}}$ – «удельная расчетная ЭН единицы количественного показателя (рабочее место, посадочное место, площадь торгового зала, м², и т.п.)» [15];

M – «число детей в школах и детских садах, площадь предприятий и прочее» [15].

«Расчетные ЭН линий до 1000 В и ТП, которые питают группы жилых и общественных зданий вычисляются по формуле» [15], [18], [21]:

$$P_{p(л,тп)} = P_{p(нб)} + \sum_{j=1}^{m-1} k_{у,м(j)} P_{зд(j)}, \quad (8)$$

где $P_{p(нб)}$ – «наибольшая расчетная ЭН одного из общественных зданий или суммарная ЭН жилых домов, которые питаются по данной ЛЭП или от ТП, кВт;

$P_{зд(j)}$ – расчетные ЭН других (j) зданий, кВт;

$k_{у,м(j)}$ – коэффициенты участия в максимуме» [15].

Согласно СП 256.1325800.2016 для магазина «Мебель»

$$P_{уд.пр} = 0,14 \text{ кВт/м}^2;$$

$$\cos\varphi = 0,92.$$

Тогда расчетная нагрузка данного магазина составляет [18]:

$$P_{p(пр)} = 0,14 \cdot 1724 \cdot 0,9 = 217,22 \text{ кВт};$$

$$Q_{p(пр)} = P_{p(пр)} \operatorname{tg}\varphi_{пр}; \quad (9)$$

$$Q_{p(пр)} = 217,22 \cdot 0,43 = 92,54 \text{ квар};$$

$$S_{p(пр)} = \sqrt{P_{p(пр)}^2 + Q_{p(пр)}^2}; \quad (10)$$

$$S_{p(пр)} = \sqrt{186,19^2 + 80,06^2} = 236,11 \text{ кВА}$$

«Расчет ЭН остальных зданий аналогичен и представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет нагрузок учреждений культурно–бытового назначения

Название учреждения	Характеристика объекта	Удельная расчетная ЭН единицы количественного показателя	$\cos\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S , кВА
Аптека	$P_{уст} = 25$ кВт	$K_c = 0,6$	0,9	13,50	6,54	15,00
Мебель	Площадь магазина 1724 м ²	0,14 кВт/м ²	0,92	217,22	92,54	236,11
Банк	$P_{уст} = 25$ кВт	$K_c = 0,6$	0,9	13,50	6,54	15,00
Поликлиника	$P_{уст} = 250$ кВт	$K_c = 0,7$	0,85	157,50	97,61	185,29
Детский сад	150 человек	0,12 кВт/место	0,97	16,20	4,06	16,70
Детский сад	150 человек	0,12 кВт/место	0,97	16,20	4,06	16,70
Детский сад	150 человек	0,12 кВт/место	0,97	16,20	4,06	16,70
Кафе	50 человек	0,9 кВт/место	0,95	40,50	13,31	42,63
Школа	1100 учащихся	0,22 кВт/чел	0,95	217,80	71,59	229,26
Котельная	$P_{уст} = 100$ кВт	$K_c = 0,6$	0,95	54,00	17,75	56,84
Торговый центр	2625 м ²	0,14 кВт/м ²	0,9	330,75	160,19	367,50
ФОК	$P_{уст} = 350$ кВт	$K_c = 0,7$	0,9	220,50	106,79	245,00
ИТОГО	–	–		1313,87	585,03	1442,75
	Итого с (Км)=0,9					1298,472

«Расчетная нагрузка освещения для микрорайона города» [15] является важным аспектом проектирования электроснабжения и обеспечения безопасности жителей. Освещение общественных пространств, улиц, дорог, парков и других мест играет ключевую роль в обеспечении комфорта и безопасности жизни людей в ночное время.

Для расчета нагрузки освещения микрорайона учитываются следующие факторы:

- типы освещения: определение типов и характеристик осветительных приборов, используемых на улицах и общественных пространствах микрорайона (это могут быть уличные фонари, светильники на дорожках, в парках, на площадях и т.д.);
- площади освещаемых территорий: определение общей площади, подлежащей освещению в микрорайоне, включая длину улиц, площадей, парков и других общественных мест;
- уровень освещенности: расчет требуемого уровня освещенности для различных зон микрорайона в соответствии с функциональным назначением этих зон (например, высокий уровень освещенности на перекрестках или пешеходных дорожках, более мягкое освещение в парковых зонах);
- энергоэффективность осветительных систем: выбор энергоэффективных технологий освещения (например, светодиодные или энергосберегающие лампы) с учетом минимизации энергопотребления;
- расчет потребляемой мощности: оценка общей потребляемой мощности осветительных систем для микрорайона с учетом всех вышеперечисленных параметров.

Для точного расчета нагрузки освещения микрорайона необходимо также учитывать нормативы и стандарты по освещению общественных пространств, обеспечивая оптимальное сочетание функциональности, эффективности и безопасности. Такой подход позволит создать комфортную

и безопасную среду для жителей и посетителей микрорайона, с учетом современных требований к энергоэффективности и экологичности освещения.

«Ориентировочные расчеты нагрузки освещения для микрорайона города могут быть сделаны по следующим данным: магистральные улицы районного значения, площади перед крупными зданиями: $P_{уд.ул} = 30 - 50 \frac{кВт}{км}$; внутриквартальные территории: $P_{уд.кв} = 1,2 \frac{кВт}{га}$.

Расчетная активная мощность внешнего электроосвещения внутриквартальных территорий микрорайона» [17]:

$$P_{вк} = F_{вк} \cdot P_{уд.кв.}; \quad (11)$$

$$P_{вк} = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ кВт},$$

где $P_{уд.кв.}$ – «для внутриквартальных территорий»;

$F_{вк}$ – площадь внутриквартальных территорий, га» [17].

«Расчетная активная мощность внешнего электроосвещения улиц районного значения микрорайона» [17]:

$$P_{уд} = P_{уд.ул} \cdot L, \quad (12)$$

где $P_{уд.ул}$ – «для улиц»;

$L = 2 \text{ км}$ – протяженность улиц районного значения рассматриваемого района» [17].

$$P_{уд} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ кВт},$$

«Так же учитывается электроосвещение стадиона, площадь которого составляет 2500 м^2 и зоны отдыха, галогеновыми прожекторами (согласно СП 52.13330.2016 $P_{уд} = 2,3 \text{ кВт/м}^2$)» [19]:

$$P_{cm} = F_{cm} \cdot P_{y\delta}, \quad (13)$$

$$P_{cm} = 2,3 \cdot 2500 = 5,8 \text{ кВт.}$$

Расчетная ЭН уличного электроосвещения равна:

$$P_{ул.осв.} = P_{cm} + P_{ул} + P_{вк}; \quad (14)$$

$$P_{ул.осв.} = 5,8 + 80 + 30 = 125,8 \text{ кВт.};$$

$$Q_{ул.осв.} = 125,8 \cdot 0,48 = 60,8 \text{ квар.};$$

$$S_{ул.осв.} = \sqrt{125,8^2 + 60,8^2} = 139,72 \text{ кВА.}$$

2.3 Итоговые данные о потребляемой мощности в проектируемом районе

Представление итоговых данных о потребляемой мощности в проектируемом районе является важным шагом для определения необходимой мощности электроснабжения и правильного выбора оборудования. Эти данные позволяют оценить общий электрический баланс района и обеспечить эффективное функционирование электрической сети.

«Суммарная активная расчетная ЭН всех жилых зданий микрорайона» [15]:

$$P_{mr.} = P_{кв.мр.} + k_y \cdot (P_{л.мр.} + P_{ст.мр.}) + \sum (k_{yi} \cdot P_{общ.зд.i}) + P_{ул.осв.}; \quad (15)$$

где $P_{общ.зд.i}$ – «расчетные ЭН общественных зданий;

k_{yi} – коэффициенты участия в максимуме ЭН общественных зданий и жилых домов» [15].

$$P_{mr.} = 3596 + 0,9 \cdot (390,5 + 179,8) + 1313,87 + 125,8 = 5548,94 \text{ кВт.}$$

«Суммарная реактивная расчетная ЭН всех жилых зданий микрорайона» [15]:

$$Q_{mp.} = Q_{кв.мп.} + k_y \cdot (Q_{л.мп.} + Q_{ст.мп.}) + \sum(k_{yi} \cdot Q_{общ.зд.i}) + Q_{ул.осв}; \quad (16)$$
$$Q_{mp.} = 719,2 + 0,9 \cdot (456,89 + 134,85) + 60,8 + 585,03 = 1897,6 \text{ квар.}$$

«Суммарная расчетная полная ЭН микрорайона» [15]:

$$S_{p(мп)} = \sqrt{P_{p(мп)}^2 + Q_{p(мп)}^2}; \quad (17)$$
$$S_{p(мп)} = \sqrt{5548,94^2 + 1897,6^2} = 5864,44 \text{ кВА}$$

Выводы по разделу 2.

Во втором разделе ВКР проведен расчет электрических нагрузок рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург. Рассчитаны нагрузки жилых и общественных зданий, а также уличного освещения. Суммарная активная расчетная нагрузка района составляет 5548,94 кВт. Расчет электрических нагрузок микрорайона играет ключевую роль в обеспечении энергетической эффективности, устойчивости и комфорта жизни городского населения. Точные данные по нагрузкам позволяют принимать обоснованные решения по развитию электроинфраструктуры с учетом современных требований к экологичности и энергоэффективности. Результаты данного раздела будут использованы в последующих разделах ВКР для разработки схемы электроснабжения микрорайона и оценки ее экономической эффективности.

3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

3.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается важный аспект проектирования электроснабжения микрорайона города – выбор трансформаторов для преобразования напряжения с уровня 10 кВ на уровень 0,4 кВ.

Цель данного раздела заключается в оптимальном выборе параметров трансформаторов для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения микрорайона. Это включает в себя анализ нагрузок, определение необходимой мощности трансформаторов, а также выбор соответствующего их количества и типа для обеспечения эффективности работы электрической сети.

Для обеспечения требуемой надежности электроснабжения зданий микрорайона все ТП выполняются двухтрансформаторными.

«Поверхностная плотность ЭН жилого микрорайона» [20]:

$$\sigma = S_p / F_{\text{мкр}}, \quad (18)$$

где S_p – «полная расчетная мощность потребителей микрорайона, кВА;

$F_{\text{мкр}}$ – площадь территории микрорайона по генплану, км²» [20].

$$\sigma = 5864,44 / 0,25 = 23,5 \text{ МВА/км}^2 > 8,0 \text{ МВт/км}^2.$$

«В жилых районах городов при плотности нагрузки более 8,0 МВт/км² рекомендуется использование трансформаторов 10/0,4 кВ, мощность которых составляет 630 кВА.

При взаимном резервировании трансформаторов городских ТП 10/0,4 кВ выбор номинальной мощности данных трансформаторов осуществляется с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме до 160%» [20].

«Число трансформаторов в ТП рассматриваемого микрорайона равно» [1]:

$$N = \frac{S_p}{k_3 S_{HT}}, \quad (19)$$

где S_p – «расчетная ЭН микрорайона, кВА;

S_{HT} – принятая номинальная мощность трансформаторов, кВА;

k_3 – коэффициент загрузки, с учетом возможного отключения потребителей третьей категории $k_3 = 0,8$ » [1].

$$N = \frac{5864,44}{0,7 \cdot 630} = 11,6;$$

$$N = \frac{5864,44}{0,7 \cdot 1000} = 7,32.$$

Исследуются два варианта установки трансформаторов:

- первый вариант предусматривает установку 12 трансформаторов мощностью 630 кВА каждый (6 трансформаторных подстанций 2×630 кВА).
- второй вариант предусматривает установку 8 трансформаторов мощностью 1000 кВА каждый (4 трансформаторных подстанции 2×1000 кВА).

3.2 Выбор схемы электроснабжения района

В «данном разделе выпускной квалификационной работы будет рассмотрен вопрос выбора» [1] оптимальной схемы электроснабжения для

микрорайона города. Электроснабжение является одним из важнейших аспектов инфраструктуры городской среды, оказывающим значительное влияние на комфорт и безопасность жизни жителей.

Цель данного раздела заключается в анализе различных вариантов схемы электроснабжения микрорайона с учетом его особенностей и потребностей. Основной задачей является выбор такой схемы, которая обеспечит эффективное распределение электроэнергии с минимальными потерями и высоким уровнем надежности.

На рисунке 3 представлена топологии сети рассматриваемого микрорайона, предусматривающая установку 6 ТП, которая предусматривает анализ различных схем распределения электроэнергии в микрорайоне, включая выбор оптимального расположения подстанций, трансформаторов и линий электропередачи.

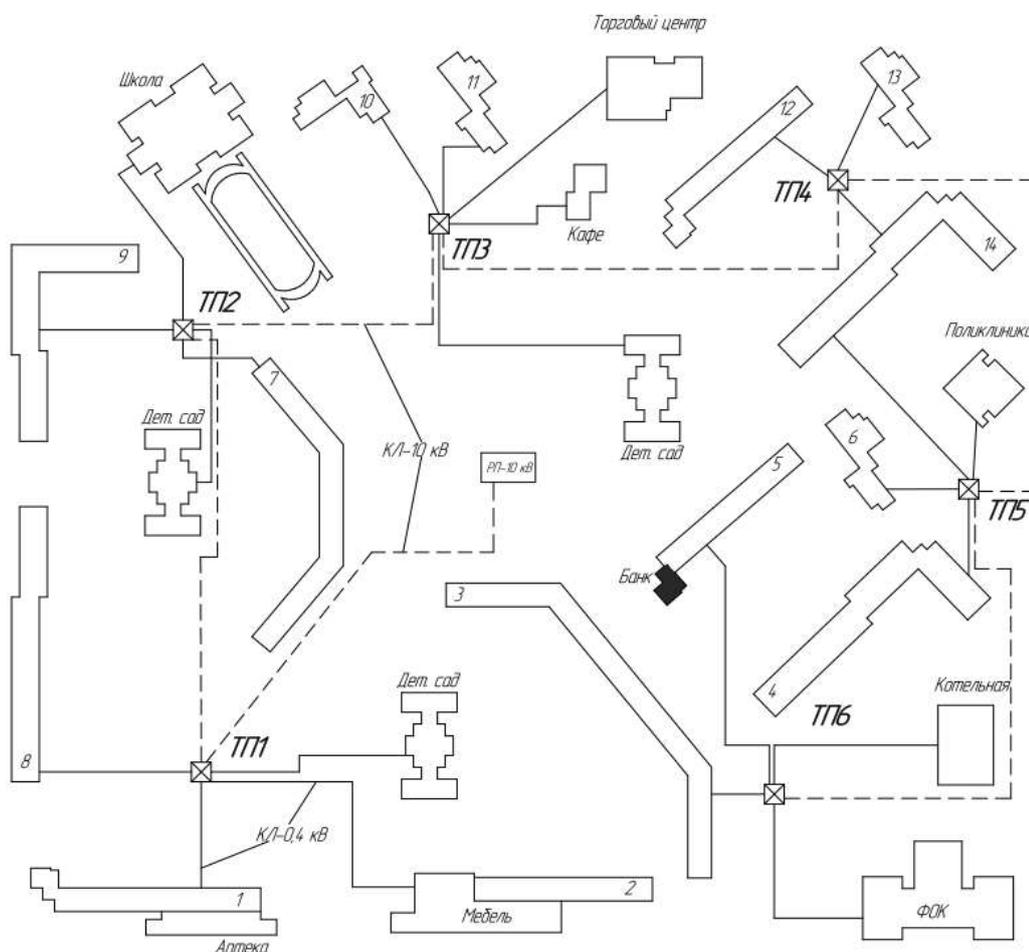


Рисунок 3 – Первый вариант топологии сети рассматриваемого микрорайона

На рисунке 4 представлена топология сети рассматриваемого микрорайона, предусматривающая установку 4 ТП, которая предусматривает анализ различных схем распределения электроэнергии в микрорайоне, включая выбор оптимального расположения подстанций, трансформаторов и линий электропередачи.

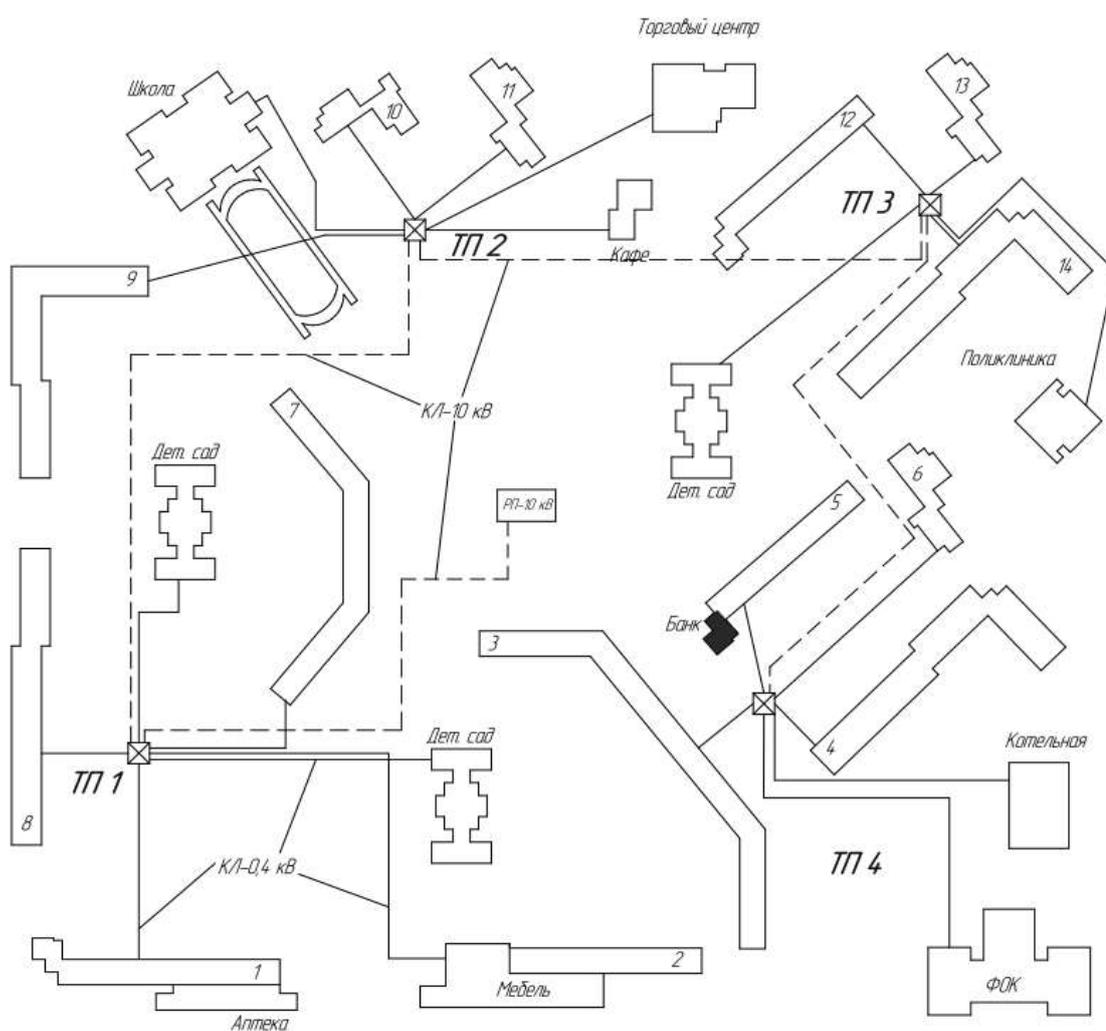


Рисунок 4 – Второй вариант топологии сети рассматриваемого микрорайона

«В таблицах 4 и 5 представлены основные технические показатели по вариантам электроснабжения» [18], которые в первую очередь включают в себя протяженность кабельных линий микрорайона при обоих вариантах построения СЭС.

Таблица 4 – Основные техничеcки показатели варианта №1

ТП1			ТП2			ТП3			Длина линий 10 кВ, км		Длина линий 0,4 кВ, км	
Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м	РП–ТП1	0,229	ТП1	0,38
детсад	16,7	100	детсад	16,70	80	жд №10	332,82	56	ТП1–ТП–2	0,222	ТП2	0,29
жд №1	254,7	53,4	жд №7	226,04	50	жд №11	226,04	52	ТП–2–ТП–3	0,1645	ТП3	0,40
жд №2	254,7	153,4	жд №9	282,55	66	Кафе	42,63	70	ТП–3–ТП–4	0,254	ТП4	0,1
жд №8	332,82	76	школа	229,26	90	ТЦ	367,50	100	ТП–4–ТП–5	0,28	ТП5	0,20
аптека	15,0	–	–	–	–	Детсад	16,70	120	ТП–5–ТП–6	0,268	ТП6	0,32
мебель	236,11	–	–	–	–	–	–	–	Итого:	1,4175	Итого:	1,70
Итого:	1110,04	380	Итого:	754,56	290	Итого:	985,69	400				
Кз	88%		Кз	60%		Кз	78%					
ТП4			ТП5			ТП6						
Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м				
жд №12	384,15	24	жд №14	271,89	100	жд №5	332,82	130				
жд №13	348,13	46	Пол–ка	185,29	30	жд №3	254,70	30				
жд №14	271,89	32	жд №4	190,91	38	Банк	15,00	–				
–	–	–	жд № 6	332,82	36	Котельная	56,84	84				
–	–	–	–	–	–	Фок	245,00	80				
Итого:	1004,17	100	Итого:	980,91	200	Итого:	904,36	320				
Кз	80%		Кз	78%		Кз	72%					

Таблица 5 – Основные техничеcки показатели варианта №2

ТП1			ТП2			ТП3			ТП4		
Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м	Наим.	S, кВА	Лкл, м
жд №1	254,70	91	жд №9	282,55	125	жд №12	384,15	43	жд №3	254,7	33
аптека	236,11	–	школа	229,26	110	жд №13	348,13	26	жд №4	190,91	27
жд №2	254,70	194	жд №10	332,82	54	жд №14	543,78	20	жд №5	332,82	42
мебель	236,11	–	жд №11	226,04	54	детсад	16,70	118	жд №6	332,82	103
жд №8	332,82	40	кафе	42,63	85	Пол–ка	185,29	165	Котельная	56,84	108
детсад	16,70	130	ТЦ	367,50	118	–	–	–	ФОК	245,00	150
детсад	16,70	75	–	–	–	–	–	–	Банк	15,00	–
жд №7	226,04	80	–	–	–	Итого:	1478,06	0,37	Итого:	1428,09	0,46
Итого:	1573,90	0,61	Итого:	1480,80	0,55	Кз	74%		Кз	71%	
Кз	79%		Кз	74%							
Длина линий 10 кВ, км			Длина линий 0,4 кВ, км								
РП–ТП1	0,265		ТП1	0,61							
ТП1–ТП2	0,3632		ТП2	0,55							
ТП2–ТП3	0,234		ТП3	0,37							
ТП3–ТП4	0,279		ТП4	0,46							
Итого:	1,1412		Итого:	1,99							

В заключении можно сделать вывод, если установить четыре трансформаторные подстанции по варианту 2, длина линий электропередачи напряжением 10 кВ составит 1142,2 метра, что на 276 метров меньше, чем при установке шести подстанций по варианту 1. В то же время, длина линий электропередачи напряжением 0,4 кВ увеличится на 290 метров.

3.3 Расчет затрат на строительство распределительной сети 10 кВ

«В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается вопрос расчета затрат на строительство распределительной сети напряжением 10 кВ. Этот аспект является ключевым при проектировании электроснабжения, поскольку качественная и надежная электрическая сеть играет важную роль в обеспечении энергетической инфраструктуры» [9].

Цель данного раздела заключается в проведении расчетов затрат на строительство и установку распределительной сети 10 кВ с учетом всех необходимых факторов и параметров. Основные задачи включают в себя:

- определение объема работ: «анализ требуемого объема строительства, включая установку опор, монтаж кабелей, строительство подстанций и других элементов электрической инфраструктуры;
- учет технических характеристик: определение технических параметров необходимого оборудования, типов и характеристик используемых материалов для строительства;
- оценка затрат на материалы и оборудование: проведение расчетов затрат на закупку материалов (кабели, опоры, оборудование) и техническое обеспечение для строительства распределительной сети.

Предпочитаемый вариант СЭС микрорайона определяется по минимуму приведенных затрат» [9]:

$$Z_{\Sigma} \rightarrow \min; \quad (20)$$

$$Z = p_{\text{норм}} \cdot K_{\Sigma} + И, \quad (21)$$

где $p_{\text{норм}}$ – «нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 0,12;

K_{Σ} – капиталовложения, руб.;

$И$ – годовые текущие затраты, руб./год» [9];

$$I = I_{AM} + I_W; \quad (22)$$

где I_{AM} – «издержки на амортизацию, ТОиР, руб./год;

I_W – издержки на покрытие потерь электроэнергии, руб./год» [9].

«Расчет капиталовложений в схему электроснабжения» [9] является важным этапом при проектировании электроинфраструктуры. Этот процесс включает анализ всех затрат, необходимых для создания и ввода в эксплуатацию электроэнергетической системы. Цель данного расчета состоит в определении полной стоимости проекта электроснабжения с учетом всех финансовых аспектов.

«Расчет капиталовложений выполняется согласно» [9], [16] по УПСС. При оценке укрупненных показателей стоимости строительства электроснабжения рассматриваются основные составляющие затрат, необходимых для создания и введения в эксплуатацию электроинфраструктуры. Данные показатели электроснабжения позволяют оценить общий объем капиталовложений, необходимых для реализации проекта, и представить это в более обобщенной форме. УПСС играют важную роль при планировании бюджета, оценке экономической целесообразности проекта и принятии решений по его реализации.

В таблице 6 представлен расчет капиталовложений для каждого из вариантов сети микрорайона.

Далее выполняется расчет текущих издержек.

Текущие издержки в контексте электроснабжения могут включать в себя различные операционные расходы, которые возникают в процессе эксплуатации и поддержания электроинфраструктуры в работоспособном состоянии. Эти издержки могут быть как переменными (зависящими от объема производства или использования электроэнергии), так и постоянными (не зависящими от объема производства).

Таблица 6 – Расчет капиталовложений

Составляющие затрат	Номер таблицы сборника УПС [16]	Вариант 1		Вариант 2	
		Расчет затрат	Величина затрат, тыс. руб.	Расчет затрат	Величина затрат, тыс. руб.
Строительство 2 КЛ–10 кВ (в разных траншеях) (ПС–РП) 1,3 км АПвПу2г 3(1×300/70)	табл. 9	2·730,7·1,3	1899,82	2·730,7·1,3	1899,82
Строительство 2 КЛ –10 кВ (в двух траншеях) РП–ТП АПвПу2г 3 (1×185/70)	табл. 9	2·856,9·1,4175	2429,31	2·856,9·1,1412	1955,79
Строительство БКРПБ–10 кВ	табл.6	1770,7	1770,70	1770,7	1770,70
Строительство КТП (2×630)–6 шт. для варианта 1 или КТП (2×1000)–4 шт. для варианта 2	табл. 6	6·597,8	3586,80	4·959,6	3838,4
Строительство КЛ–0,4 кВ 1,7 км	Табл. 8	1,7·212	360,4	1,99·212	421,88
Итого:			10047,03		9886,59
Стоимость строительства с учетом затрат, сопутствующих строительству 19,1 %	п. 2.7	10047,03·1,191	11966,01	9886,59·1,191	11774,93
Расчет стоимости строительства в ценах на 1 квартал 2024 г.					
Наименование работ	Составляющие, %	Индекс [12]	Сумма, тыс. руб.	Индекс [12]	Сумма, тыс. руб.
строительно–монтажные работы	82,50%	5,74	56665,06	5,74	55760,17
Пусконаладочный работы	0,50%	11,15	667,11	11,15	656,45
Прочие затраты	17,00%	7,74	15744,88	7,74	15493,45
прил. 2 сборника УПС	-	1,09	-	-	-
Итого без НДС	-	-	79653,98	-	78381,97
с НДС	-	-	93991,70	-	92490,73

Издержки на амортизацию и обслуживание электроснабжения играют важную роль в планировании бюджета и обеспечении устойчивой работы электрической сети. Эти расходы помогают поддерживать высокий уровень надежности и безопасности системы электроснабжения на протяжении всего ее срока эксплуатации. Оптимизация этих издержек позволяет эффективно управлять ресурсами и обеспечивать эффективную работу электроинфраструктуры при минимальных операционных затратах [9]:

$$I_{AM\Sigma} = (a_a + a_p + a_o) \cdot K_{\Sigma}, \quad (23)$$

где a_a, a_p, a_o – «нормы отчислений на амортизацию, обслуживание и ремонт соответственно согласно» [9].

«Суммарные эксплуатационные издержки представлены в таблице 7» [9].

Таблица 7 – Эксплуатационные издержки

Вариант	K_{Σ} , тыс. руб.	a_a	a_p	a_o	$I_{AM\Sigma}$, тыс. руб.
1	93991,70	0,167	0,045	0,06	25565,74
2	92490,73	0,167	0,045	0,06	25157,48

«Издержки на покрытие потерь электроэнергии» [9] включают в себя расходы, связанные с электрическими потерями, которые происходят в процессе передачи и распределения электроэнергии по сети. Эти потери могут возникать из-за сопротивления проводов и компонентов сети, нагрева и других факторов, приводящих к неэффективному использованию энергии [7]:

$$I_{\Delta W} = \beta \cdot (\Delta W_{ЛЭП} + \Delta W_{Т\Sigma}), \quad (24)$$

где $\Delta W_{Т\Sigma}$ – «активные потери электроэнергии в трансформаторах;

β – стоимость одного кВт электроэнергии, руб./кВт.

$\Delta W_{ЛЭП}$ – потери электроэнергии в ЛЭП» [7];

$$\Delta W_{\text{ВЛЭП}} = I_{\text{расч}}^2 \cdot R_{\text{ВЛЭП}} \cdot \tau_{\text{max}},$$

где $I_{\text{расч}}$ – «расчетный ток ЛЭП, А;

$R_{\text{ВЛЭП}}$ – сопротивление ЛЭП, Ом;

τ_{max} – время максимальных потерь» [10], ч.

$$\tau_{\text{max}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{max}}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ ч.}$$

$$\Delta W_T = 8760 \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{S_{\text{нагр}}^2}{S_{\text{ном}}^2} \cdot \tau_{\text{max}}; \quad (25)$$

«Расчет потерь в СЭС рассматриваемого микрорайона представлен в таблицах 8 и 9» [9].

Таблица 8 – Издержки на покрытие потерь электроэнергии

Вар.	$\Delta W_{\text{ВЛЭП}}$, кВт	$\Delta W_T \Sigma$, кВт	β , руб/кВт	$I \Sigma W$, тыс. руб.
1	34988,78	186025,96	3,5	773,5
2	36367,37	187873,13	3,5	784,8

Таблица 9 – Расчет потерь электроэнергии

Линия	I_p , А	L, км	R, ом	$\Delta W_{\text{ВЛЭП}}$, кВт
Первый вариант сети				
ПС – РП	161,42	1,30	0,16	23463,66
РП – ТП1	161,42	0,23	0,03	4133,21
ТП1 – ТП2	127,43	0,22	0,04	3329,68
ТП2 – ТП3	106,66	0,16	0,03	1728,56
ТП3 – ТП4	79,53	0,25	0,04	1483,91
ТП4 – ТП5	51,89	0,28	0,04	696,39
ТП5 – ТП6	24,89	0,27	0,04	153,38
Итого:				34988,78
Второй вариант сети				
ПС – РП	161,42	1,30	0,16	23463,66
РП – ТП1	161,42	0,27	0,04	6377,30
ТП1 – ТП2	120,75	0,36	0,06	4890,99
ТП2 – ТП3	79,99	0,23	0,04	1382,81
ТП3 – ТП4	31,31	0,28	0,04	252,61
Итого:				36367,37

3.4 Сравнение вариантов электроснабжения

В данном разделе выпускной квалификационной работы будет проведено сравнительное исследование различных вариантов электроснабжения микрорайона с целью определения наиболее оптимального решения. Электроснабжение микрорайонов является важным аспектом городской инфраструктуры, влияющим на комфорт и безопасность проживающих.

Цель данного раздела заключается в анализе и сопоставлении различных вариантов схем электроснабжения с учетом их технических, экономических и экологических характеристик.

В таблице 10 приведено сравнение вариантов электроснабжения рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт–Петербург.

Таблица 10 – Сравнение вариантов электроснабжения микрорайона

Вариант	$E_{\text{норм}}$	K_{Σ} , тыс. руб.	$I_{\text{ам}\Sigma}$, тыс. руб.	$I_{\Sigma W}$, тыс. руб.	I_{Σ} , тыс. руб.	Z_{Σ} , тыс. руб.	Разница, %
1	0,12	93991,70	25565,74	773,5516	26339,29	37618,30	1,56
2		92490,73	25157,48	784,8417	25942,32	37041,21	

«Как видно из таблицы 11 наиболее выгодным вариантом является вариант № 2, предусматривающий установку четырёх двухтрансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью 1000 кВА каждый. Также данный вариант является наиболее предпочитаемым с точки зрения надежности электроснабжения, как вариант с меньшим числом оборудования.

Выводы по разделу 3.

В третьем разделе ВКР проведен выбор» [9] и расчет числа и мощности трансформаторов рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт–Петербург. Построены два варианта топологии сети и проведено их технико-экономическое сравнение.

4 Расчет токов короткого замыкания

«Расчет токов короткого замыкания является важным этапом проектирования» [9] и обслуживания электрических сетей, особенно в контексте микрорайонов городов, где электротехническая инфраструктура играет критическую роль в обеспечении энергетической безопасности и стабильности, к которому можно отнести и Санкт-Петербург. Этот раздел посвящен расчету токов КЗ для микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург с «целью определения максимальных токов, которые могут возникнуть при коротких замыканиях в электрической сети» [9].

Основные задачи данного расчета включают определение максимальных значений токов короткого замыкания на различных участках сети, оценку влияния коротких замыканий на работу оборудования и устройств автоматической защиты, а также разработку мероприятий по обеспечению безопасности и надежности электроснабжения.

Целью данного раздела является представление методологии расчета токов короткого замыкания, описание используемых моделей и подходов к анализу, а также анализ полученных результатов с целью оптимизации параметров электрической сети микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург. Полученные данные послужат основой для принятия обоснованных решений по проектированию и модернизации электротехнической инфраструктуры микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург с учетом требований безопасности и эффективности.

Расчет токов КЗ выполняется с учетом требований ГОСТ 28249–93 [4]. На шинах «10 кВ ПС 220/35/10 кВ «Парголово» расчетное значение тока КЗ равно 10,67 кА.

На рисунке 5 приведена схема замещения схемы электроснабжения рассматриваемого микрорайона. Определяются значения токов КЗ на шинах РП и ТП» [14].

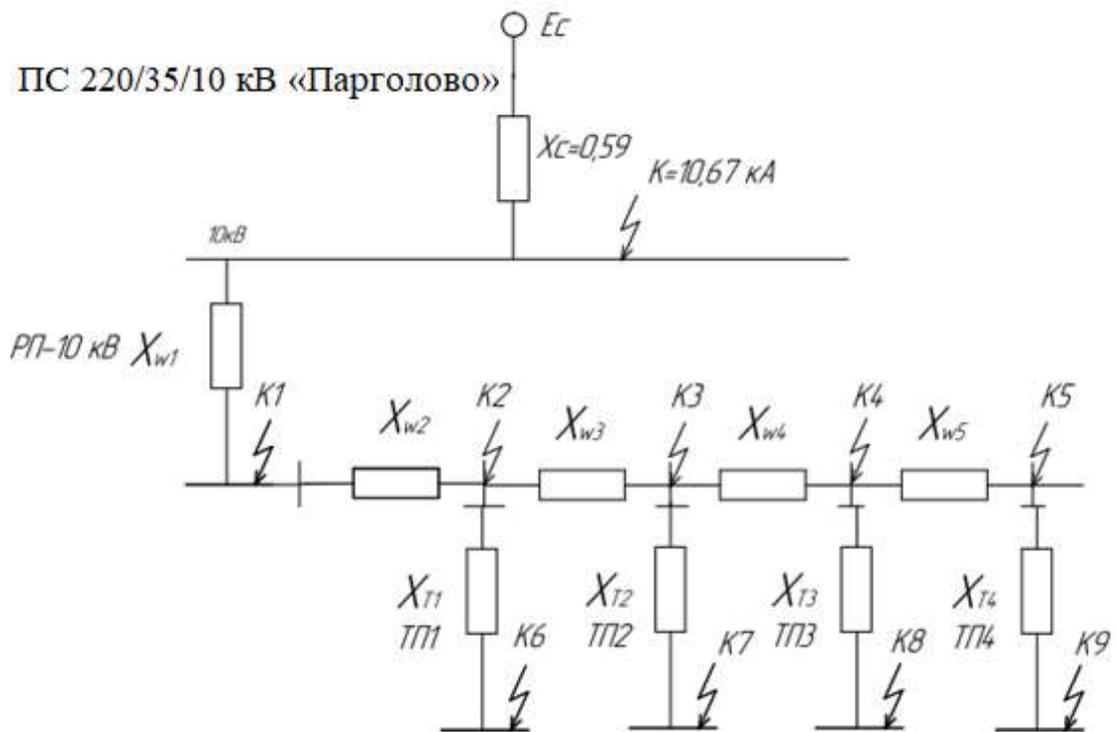


Рисунок 5 – Схема замещения

«Сопротивление системы» [14]:

$$X_c = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{к3}}; \quad (26)$$

$$X_c = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10,67} = 0,59 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление линии w1 (ПС–ПП): $X_{w1}=0,134$ Ом;

Результирующее сопротивление до точки K1» [14]:

$$X_{рез} = 0,59 + 0,134 = 0,73 \text{ Ом.}$$

«Ток K3 в точке K1» [14]:

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{рез}}, \quad (27)$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 0,67} = 8,38 \text{ кА.}$$

«Расчет токов КЗ в остальных точках аналогичен и представлен в таблице 11» [14].

Таблица 11 – Результаты расчета токов КЗ

Номер точки КЗ	Ikз, кА	Xрез, Ом	Элемент сети	L, км	Xэл, Ом
К	10,67	0,59	Xw1	1,30	0,13
К1	8,38	0,72	Xw2	0,27	0,05
К2	7,89	0,77	Xw3	0,36	0,06
К3	7,31	0,83	Xw4	0,23	0,04
К4	6,97	0,87	Xw5	0,28	0,05
К5	6,61	0,92	–	Uкз, %	Xэл, Ом
К6 (0,4кВ)	25,36	6,28	Xт1	5	5,51
К7 (0,4кВ)	25,12	6,34	Xт2	5	5,51
К8 (0,4кВ)	24,96	6,38	Xт3	5	5,51
К9 (0,4кВ)	24,78	6,43	Xт4	5	5,51

Выводы по разделу 4

В четвертом разделе ВКР выполнен расчет токов КЗ для различных точек системы электроснабжения рассматриваемого микрорайона. Расчет токов короткого замыкания микрорайона города представляет собой важную часть процесса проектирования и эксплуатации электроэнергетической инфраструктуры. Основная цель данного расчета заключалась в определении максимальных токов короткого замыкания для различных участков электрической сети с целью обеспечения безопасной и надежной работы системы. В результате расчетов были определены максимальные значения токов короткого замыкания для различных участков микрорайона. Эти данные необходимы для выбора и настройки защитных устройств и оборудования. Расчетные данные позволяют оценить воздействие коротких замыканий на электрооборудование и определить необходимые параметры номинальной мощности и характеристик защитных устройств.

5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

Один из важных аспектов проектирования электроснабжения микрорайона в Московском районе города Санкт-Петербург – это выбор подходящих кабелей, которые обеспечат эффективную и безопасную передачу электроэнергии как в сети 10 кВ до подстанций 10/0,4 кВ микрорайона, так и от подстанций микрорайона к конечным потребителям (жилым и общественным зданиям микрорайона). В данном разделе рассматривается методика выбора кабельной продукции с учетом оптимальных технических характеристик, эксплуатационных условий и требований к электрической безопасности.

Анализируются различные типы кабелей, а также учитывается выбор материалов для изоляции и оболочки, в результате чего принят кабель АПвПу2г для линий «10 кВ. Рассчитаем сечение кабеля для участка от ПС 220/35/10 кВ «Парголово» до РП–10 кВ микрорайона.

Рабочий ток линии» [3]:

$$I_{\text{раб_РП}} = \frac{S_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot n}; \quad (28)$$

$$I_{\text{раб_РП}} = \frac{5864,44}{18,19 \cdot 2} = 162,2 \text{ А}$$

«Экономическое сечение линии» [3]:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{раб max}}}{j}; \quad (29)$$

где $S_{\text{эк}}$ – «экономически целесообразное сечение, мм²;

$j = 1,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ – ЭПТ (для кабелей с пластмассовой изоляцией с алюминиевыми жилами равна 1,7 А/мм²)» [13].

$$S_{\text{эк}} = \frac{162,2}{1,7} = 95,3 \text{ мм}^2.$$

Предварительно выбирается кабель АПвПу2Г-3×95 с длительным током $I_{\text{доп}}=295 \text{ А}$.

При проверке выбранного кабеля по потере напряжения осуществляется оценка эффективности передачи электроэнергии и оптимизации работы электроснабжения. Потери напряжения в кабелях могут существенно влиять на энергетическую эффективность системы и требуют особого внимания при выборе кабельной продукции [3]:

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3}I_{\text{р}}l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \phi + x_0 \sin \phi); \quad (30)$$

где $I_{\text{р}}$ – «расчетный ток линии, А;

r_0, x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линий, Ом/км;

l – длина линии, км;

$\cos \phi_{\text{ср}}$ – коэффициент мощности» [3].

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{1,73 \cdot 162,2 \cdot 1,3 \cdot 100 \cdot (0,34 \cdot 0,95 + 0,083 \cdot 0,32)}{10,5 \cdot 10^3} = 1,21 \text{ \%}.$$

«Кабель проходит по допустимым потерям напряжения» [5] согласно ГОСТ 32144–2013.

Учитывая, что данный участок сети является основным и будет использоваться для дальнейшего расширения электросети с присоединением новых потребителей и нагрузок, мы принимаем решение о прокладке силового кабеля напряжением 10 кВ типа АПвПу2Г-3×300. Это позволит обеспечить достаточную мощность и надежность передачи электроэнергии «на протяжении всего срока службы системы.

Выбор остальных кабельных линий 10 кВ аналогичен и представлен в таблице 12» [3].

Таблица 12 – Выбор сечения ЛЭП–10 кВ

Участок	Длина линии, км	S, кВА	Ip, А	г ₀ , ом/км	х ₀ , ом/км	Принятое сечение, мм ²	I _{доп} , А	ΔU, %	Кз, %
ПС–РП	1,3	2932,22	161,42	0,12	0,075	300	357	0,48	45%
РП–ТП1	0,265	2932,22	161,42	0,16	0,077	185	270	0,12	60%
ТП1–ТП2	0,3632	2193,47	120,75					0,13	45%
ТП2–ТП3	0,234	1453,07	79,99					0,05	30%
ТП3–ТП4	0,279	714,05	39,31					0,03	15%

«Линии напряжением 0,4 кВ прокладываются под землей с использованием кабеля марки АВБбШв. Выбор сечения для линий 0,4 кВ аналогичен подходу, используемому при выборе сечения линий напряжением 10 кВ. В таблице 13 представлен выбор сечения для линий напряжением 0,4 кВ» [3].

Таблица 13 – Выбор сечения ЛЭП 0,4 кВ

Наим.	S, кВА	L _{кл} , км	Ip, А	г ₀ , ом/км	х ₀ , ом/км	Кабель	I _{доп} , А	ΔU, %
ТП1								
жд №1	254,70	0,09	184,03	0,31	0,06	АВБбШв–4×95	255	2,27
Магазин Мебель	236,11	0,09	170,60	0,31	0,06	АВБбШв–4×95	255	2,10
жд №2	254,70	0,19	184,03	0,31	0,06	АВБбШв–4×95	255	4,84
жд №8	332,82	0,04	240,48	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	0,87
детсад	16,70	0,13	12,07	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,28
детсад	16,70	0,08	12,07	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,16
жд №7	226,04	0,08	163,32	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	2,36
ТП2								
жд №9	282,55	0,13	204,16	0,24	0,06	АВБбШв–4×120	295	2,72
школа	229,26	0,11	165,65	0,31	0,06	АВБбШв–4×95	255	2,47
жд №10	332,82	0,05	240,48	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	1,17
жд №11	226,04	0,05	163,32	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	1,59
кафе	42,63	0,09	30,80	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,47
Торговый центр	367,50	0,12	265,53	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	2,83
ТП3								
жд №12	384,15	0,04	277,57	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	1,08
жд №13	348,13	0,03	251,54	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	0,59

Продолжение таблицы 13

Наим.	S, кВА	Lкл, км	Iр, А	r0, ом/км	x0, ом/км	Кабель	Iдоп, А	ΔU , %
жд №14	543,78	0,02	392,91	0,31	0,06	2×АВБбШв– 4×95	510	1,06
детсад	16,70	0,12	12,07	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,26
Поликлини ка	185,29	0,17	133,88	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	3,99
жд №3	254,70	0,03	184,03	0,31	0,06	АВБбШв–4×95	255	0,82
жд №4	190,91	0,03	137,94	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,67
жд №5	332,82	0,04	240,48	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	0,91
жд №6	332,82	0,10	240,48	0,2	0,06	АВБбШв–4×150	335	2,24
Котельная	56,84	0,11	41,07	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,80
ФОК	245,00	0,15	177,02	0,24	0,06	АВБбШв–4×120	295	2,83
Банк	15,00	0,03	10,84	0,42	0,06	АВБбШв–4×70	210	0,45

Выводы по разделу 5

В пятом разделе ВКР выбраны кабели СЭС рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург. Линии 10 кВ выполняются кабелями марки АПвПу2г. Линии 0,4 кВ выполнены кабелями марки АВБбШв. Анализ и выбор оптимальных кабелей для микрорайона города имеет решающее значение для обеспечения эффективного и надежного функционирования электроснабжения. Результаты данного раздела будут использованы для дальнейшего проектирования и строительства электрической инфраструктуры с учетом требований современных стандартов и технических регламентов.

6 Выбор основного электрооборудования и его проверка

«Выбор основного электрооборудования и его проверка» [3] являются важными этапами проектирования и обслуживания электроэнергетических систем. Этот раздел посвящен рассмотрению процесса выбора, установки и технической проверки ключевого электрооборудования, необходимого для обеспечения надежного и эффективного функционирования системы электроснабжения.

Данный «раздел направлен на обеспечение выбора и использования оптимального электрооборудования, способного обеспечить стабильность, надежность и безопасность работы электроэнергетической системы в соответствии с требованиями современной инфраструктуры» [25].

Электроснабжение микрорайона выполняется от распределительного пункта 10 кВ. Распределительный пункт (РП) 10 кВ является ключевым элементом электроснабжения, обеспечивающим распределение электроэнергии в рассматриваемом микрорайоне. Этот тип подстанции играет важную роль в системе передачи и распределения электроэнергии и обычно используется для подключения к нему крупных промышленных, коммерческих или жилых районов. «РП–10 кВ выполняем блочного типа на базе модулей БКТП «БАЛТИКА» фирмы «Элтехника» г. Санкт–Петербург и укомплектовываем ячейками КРУ–10 кВ фирмы «ЭЛТИМА» [25]. РП 10 кВ является важной частью инфраструктуры электроснабжения нового микрорайона в Московском районе города Санкт-Петербург. Его эффективная работа снижает потери электроэнергии, обеспечивает стабильное напряжение и улучшает качество электроснабжения для всех категорий потребителей.

«На рисунке 6 представлена БКРПБ. В таблице 14 представлена техническая информация РП» [25].



Рисунок 6 – БКРПБ–10 кВ [11]

Таблица 14 – Техническая информация БКРПБ–10 кВ

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	10 кВ
Наибольшее рабочее напряжение на стороне ВН, кВ	12 кВ
Номинальный ток сборных шин на стороне ВН, А	до 1250
Номинальный ток главных цепей на стороне ВН, А	1000
Ток термической стойкости СШ на стороне ВН, кА	25
Номинальное напряжение вторичных цепей/цепей электроосвещения, В	220/24
Ток электродинамической стойкости СШ на стороне ВН, кА	63

Выбор электрических аппаратов.

Выбор вакуумных выключателей напряжением 10 кВ для рассматриваемого микрорайона представляет собой важный этап проектирования и обновления среднего напряжения электроснабжения. Рассматривается процесс выбора оптимальных вакуумных выключателей, их технические характеристики и соответствие требованиям надежности и безопасности.

Рассматриваются основные функциональные требования к вакуумным выключателям, включая мощность коммутации, номинальное напряжение, типы нагрузок, скорость коммутации и другие параметры [6]:

– по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (31)$$

– по длительному току

$$I_{норм} \leq I_{ном}; \quad (32)$$

$$I_{max} \leq I_{ном}; \quad (33)$$

– по отключающей способности

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном}; \quad (34)$$

где $I_{отк.ном}$ – «номинальный ток отключения, кА;

– по электродинамической стойкости» [6]:

$$i_y \leq i_{дин}; \quad (35)$$

где $i_{дин}$ – «ток электродинамической стойкости, кА;

i_y – ударный ток КЗ на СШ 10 кВ ТП–10 кВ» [6];

– по термической стойкости

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}; \quad (36)$$

где $I_{тер}$ – «ток термической стойкости, кА;

$t_{тер}$ – время протекания тока термической стойкости, с» [6].

Осуществляется анализ технических характеристик доступных вакуумных выключателей, включая их электрические и механические параметры, степень защиты от короткого замыкания и другие важные показатели. Проводится сравнительный анализ различных моделей вакуумных выключателей от различных производителей с целью определения наиболее подходящего варианта с учетом требований к надежности,

техническим характеристикам и эксплуатационным условиям. На основании анализа «для РУ–10 кВ ТП 10/0,4 выбираются выключатели типа ВВЭ–10–31,5 УЗ.

Результаты выбора и технические характеристики оборудования представлены в таблице 15» [22].

Таблица 15 – Технические характеристики выбранного оборудования

Условия проверки	Характеристики ВВЭ–М–10-31,5/3150 УЗ		
	Вводной	Секционный	Фидерный
$U_{уст} \leq U_n$	10	10	10
$I_{раб} \leq I_n$	3150	1600	630
$I_{п.о} \leq I_{откл}$	31,5	31,5	31,5
$i_y \leq i_{пр.с.}$	80	80	80
$V_{к.рас.} \leq V_{кн}$	1200	1200	1200
	Характеристики АBB серии Emax2		
	Вводной	Секционный	Фидерный
$U_{уст} \leq U_n$	0,69	0,69	0,69
$I_{раб} \leq I_n$	2500	1200	800
$I_{п.о} \leq I_{откл}$	42	42	42

«Схема главных электрических цепей БКРПБ – 10 кВ приведена на рисунке 7» [8].

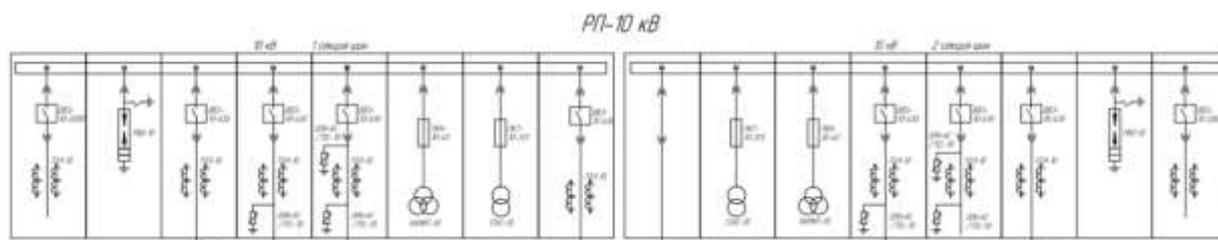


Рисунок 7 – Схема главных электрических цепей БКРПБ – 10 кВ

«Выбранное оборудование соответствует всем требуемым параметрам» [8].

Выбор автоматических выключателей напряжением 0,4 кВ подразумевает рассмотрение различных факторов, включая номинальные параметры, типы защиты, функциональные возможности и применимость к конкретным условиям эксплуатации. «При выборе автоматических

выключателей для низковольтных сетей (0,4 кВ) необходимо учитывать следующие аспекты:

- номинальный ток и номинальное напряжение: определяется максимальным током нагрузки и напряжением сети» [8], выбор должен соответствовать требуемым характеристикам электрооборудования и сетевым параметрам;
- тип защиты и функции: «автоматические выключатели могут иметь различные типы защиты, такие как защита от перегрузки, КЗ» [8], дифференциальная защита и другие функции; необходимо определить требуемые функции в зависимости от характера нагрузки и условий эксплуатации;
- «классификация по применению: учитывается область применения выключателя (например, для промышленных объектов, жилых зданий, коммерческих сооружений), а также особенности работы (автоматическое или ручное управление);
- надежность и безопасность» [8]: оценивается надежность работы выключателя, его срок службы, степень защиты от внешних воздействий (влаги, пыли) и соответствие стандартам безопасности.
- «номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу» [8]:

$$I_{\text{ном.рас}} \geq I_{\text{р.мах}}; \quad (37)$$

Для РП рабочий максимальный ток определяется по формуле [8]

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (38)$$

Для отдельных электроприемников [8]

$$I_{p.max} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (39)$$

где η – КПД, принимаются для всех электроприемников $\eta = 0,85$.

«Ток уставки замедленного срабатывания регулируемых расцепителей следует выбирать по условию» [8]:

$$I_{ном.рас} \geq (1,1 \dots 1,3) \cdot I_{p.max}. \quad (40)$$

«Уставка мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя выбирается по условию» [8]

$$I_{ном.рас.э} \geq (1,25 \dots 1,35) \cdot i_{пик}; \quad (41)$$

где $i_{пик}$ – пиковый ток.

«Пиковый ток для РП рассчитывается по формуле» [8]:

$$i_{пик} = i_{п.max} + (I_p - k_{и} \cdot i_{ном.max}), \quad (42)$$

где $i_{п.max}$ – «наибольший из пусковых токов, кА;

I_p – расчетный ток группы приемников;

$k_{и}$ – коэффициент использования, характерный для электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток» [8];

$i_{ном.max}$ – «номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током» [8].

«Для отдельных электроприемников пиковый ток – это пусковой ток, который определяется по выражению» [8]:

$$i_{пик} = K_{п} \cdot I_{p.max}; \quad (43)$$

где $K_{п}$ – кратность пускового тока.

Также при выборе автоматических выключателей необходимо проверить их по номинальной отключающей способности по выражению [8]:

$$I_{\text{ном.откл.}} > I_{\text{к}}; \quad (44)$$

где $I_{\text{ном.откл.}}$ – «номинальный ток отключения автоматического выключателя, кА;

$I_{\text{к}}$ – ток трехфазного КЗ, кА» [8].

«Для РУ–0,4 ТП 10/0,4 и ВРУ–0,4 кВ выбираются выключатели фирмы АВВ серии Еmax2» [23].

Электрическая схема КТП приведена на рисунке 8.

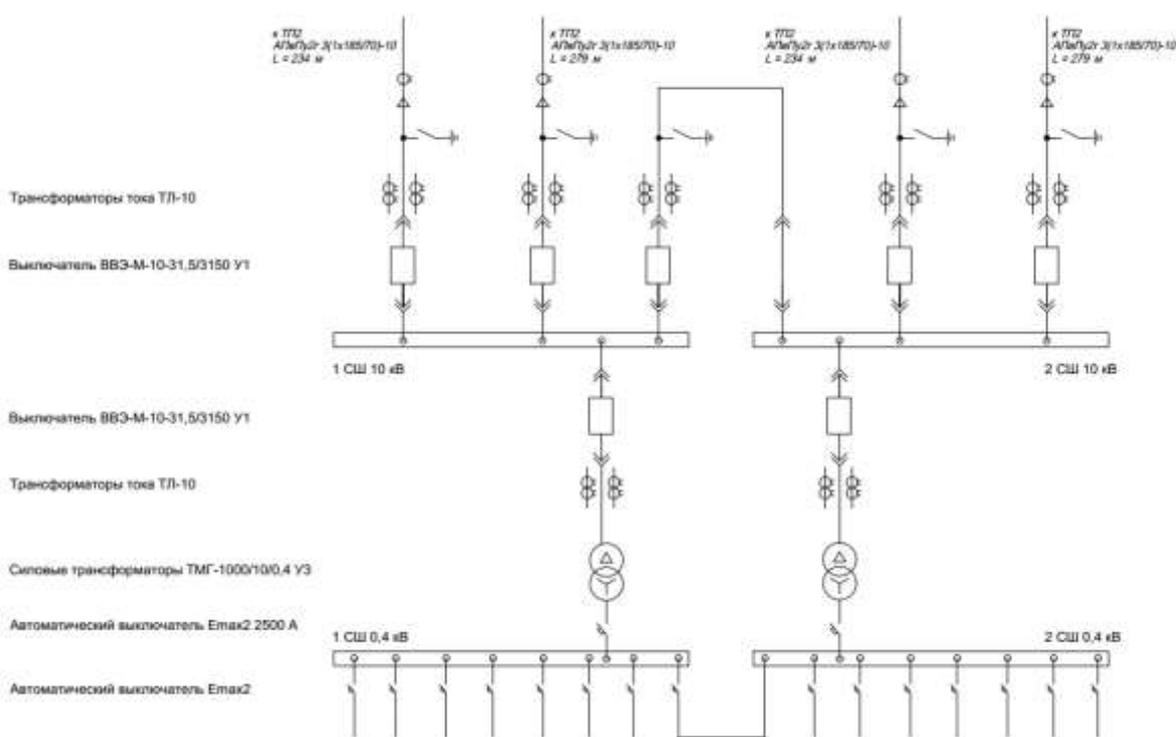


Рисунок 8 – Электрическая схема КТП

План ТП приведен на рисунке 9.

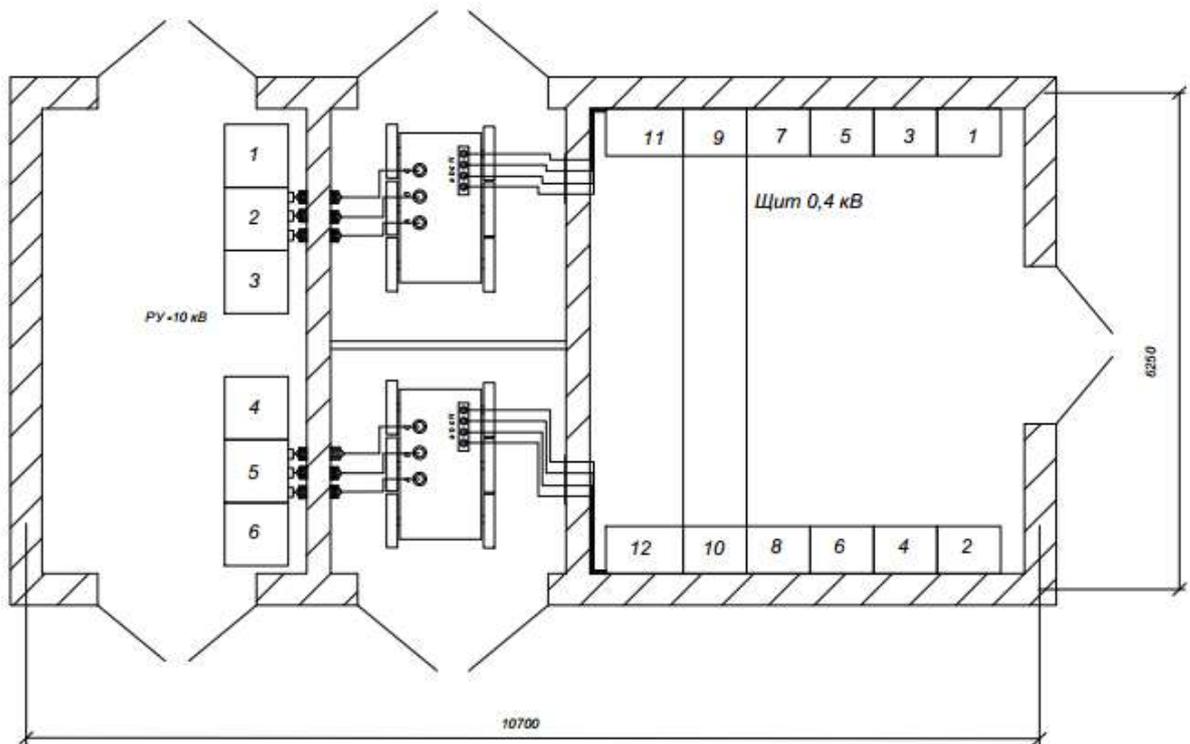


Рисунок 9 – План ТП

Электрическая схема микрорайона представляет собой детальный план распределения электроэнергии от источников к конечным потребителям в определенной территориальной зоне. Она включает в себя различные компоненты и узлы, обеспечивающие эффективное и безопасное функционирование электроснабжения. Электрическая схема микрорайона разрабатывается с учетом специфики потребностей данного района, объема электроэнергии, типов нагрузок и требований к надежности электроснабжения. Она должна соответствовать современным стандартам безопасности и эффективности энергетических систем, обеспечивая комфорт и устойчивость электроснабжения для всех пользователей. Электрическая схема микрорайона приведена на рисунке 10.

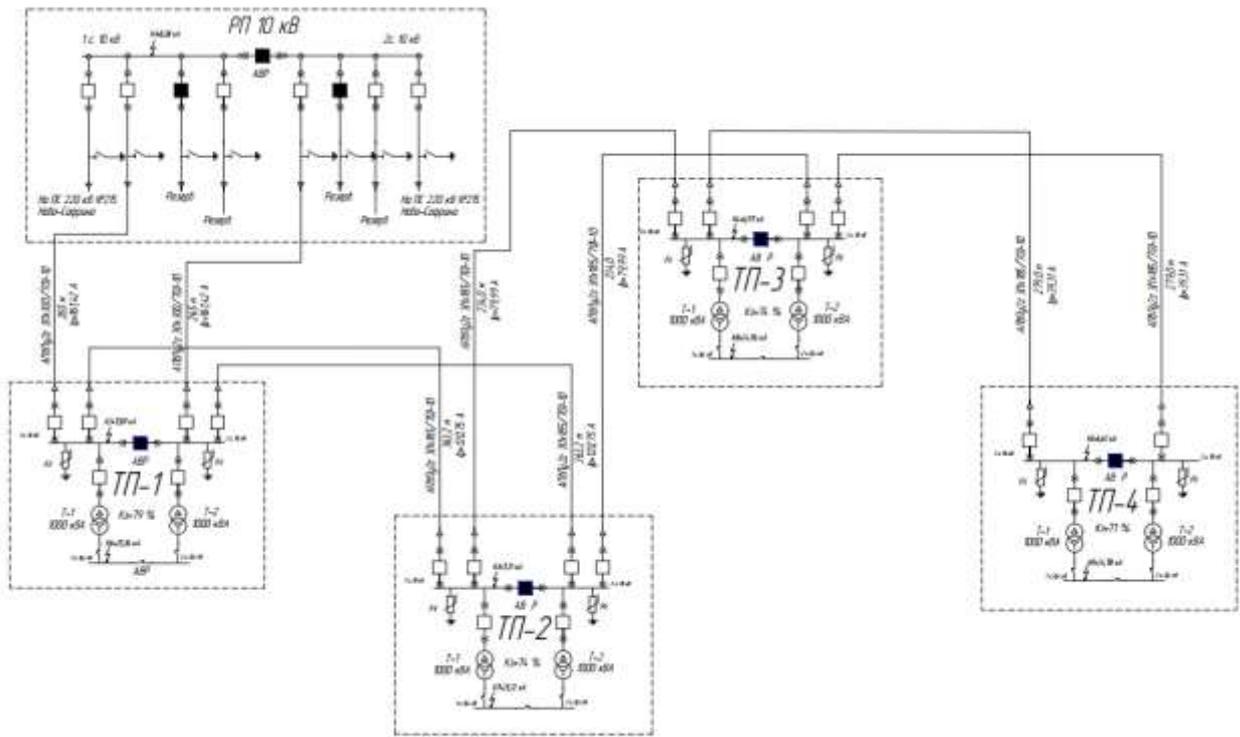


Рисунок 10 – Электрическая схема микрорайона

«Конструктивное исполнение.

Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ выбираем фирмы ЗАО ГК «Таврида Электрик» комплектного модульного типа» [24].

Высокая локализационная способность.

Минимизирует ущерб и защищает от воздействия электрической дуги обслуживающий персонал высокая стойкость Ячейки КРУ «Классика» серии D–12РТ к дуговым воздействиям в случае аварии. В базовом исполнении дуговой защитой являются клапаны для сброса избыточного давления и концевые выключатели, выступающие в роли дуговой защиты.

«Безопасность.

Благодаря принятию конструктивных решений, простоте и наглядности операций по коммутации, продуманной системе электромагнитных блокировок и механических блокировок, некорректные либо ошибочные действия обслуживающего персонала предотвращаются и таким образом обеспечивается полная безопасность при эксплуатации КТПМ СКР.

В КРУ D–12PT двери шкафов дополнительно оснащены защитными металлическими экранами, устанавливаемыми с внутренней стороны шкафов» [24] и это защищает от выбросов в коридор обслуживания продуктов горения дуги, то есть дает защиту обслуживающему персоналу. «Наружные двери модуля снабжаются замками Panic с возможностью беспрепятственного открытия их с внутренней стороны модуля» [24].

Выводы по разделу 6

В шестом разделе ВКР выбрано основное оборудование системы электроснабжения рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург. Определены и проанализированы основные требования к электрооборудованию, такие как номинальные характеристики, надежность, эффективность и безопасность. Проведенный анализ позволил выбрать наиболее подходящее электрооборудование с учетом требований проекта и условий эксплуатации. Рассмотрены различные модели и типы оборудования для обеспечения оптимальной работы системы. Выбран РП–10 кВ. Приведены параметры данного БКРПБ, схема его соединений. «Для РУ–10 кВ ТП 10/0,4 выбраны выключатели типа ВВЭ–10–31,5. Для РУ–0,4 ТП 10/0,4 и ВРУ–0,4 кВ выбраны выключатели фирмы АВВ серии Еmax2» [24]. Приведено конструктивное исполнение ТП 10/0,4 кВ. Выбранное электрооборудование должно обеспечивать надежную и эффективную работу электроэнергетической системы в течение всего периода эксплуатации.

7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

7.1 Расчёт релейной защиты распределительной сети напряжением 380В

В данном разделе будет рассмотрен выбор устройств релейной защиты и автоматики для трансформаторных подстанций (ТП) микрорайона. Основная задача этого выбора — обеспечить надежное и эффективное функционирование электроснабжения в микрорайоне, предотвращая возможные аварийные ситуации и обеспечивая безопасность системы.

При выборе устройств релейной защиты и автоматики необходимо учитывать множество факторов, таких как номинальные параметры электрооборудования ТП, топология сети, типы возможных возмущений и режимы работы системы. Особое внимание уделяется выбору соответствующих релейных защит для каждого типа оборудования (трансформаторов, выключателей, линий электропередачи и др.), а также автоматических устройств для управления и координации работы электрооборудования.

Ключевой аспект этого раздела — анализ требований к надежности, быстродействию и координации работы устройств РЗА с целью обеспечения стабильной и бесперебойной работы электроснабжения микрорайона. Важно также учитывать современные стандарты и технологии в области электроэнергетики для оптимального выбора и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики ТП.

Автоматический выключатель со стороны 0,4 кВ трансформатора.

По номинальному напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст}};$$
$$0,66 \text{ кВ} \geq 0,38 \text{ кВ}.$$

«По номинальному току теплового расцепителя» [10]:

$$I_{т.р.} \geq k_{т.р} \cdot I_{р.мах}; \quad (45)$$

где $k_{т.р}$ – «коэффициент теплового расцепителя, о.е.» [10].

$$I_{т.р.} \geq 1,15 \cdot 2020,7 = 2323,8 \text{ А.}$$

Выбирается ближайшее большее значение тока теплового расцепителя $I_{т.р.}$, А, для автоматического выключателя ВА55–43:

$$I_{т.р.} = 2500 \text{ А.}$$

Проверка автоматического выключателя по предельному отключающему току

$$I_{пр.откл} \geq I_{ПО},$$
$$63 \text{ кА} \geq 26,33 \text{ кА.}$$

«По номинальному току автоматического выключателя

$$I_{ном.ав.} \geq I_p,$$

где I_p – расчетный ток линии, А» [10].

$$2500 \geq 2323,8 \text{ А.}$$

Все условия выполняются, выбираем автоматический выключатель ВА55–43 со следующими параметрами:

$$I_{ном.ав.} = 2500 \text{ А,}$$

$$I_{т.р.}=2500 \text{ А.}$$

Ток срабатывания отсечки

$$I_{с.о.3} = 3 \cdot I_{т.р.} = 7500 \text{ А,}$$

$$t_{сз3} = 0,3 \text{ с.}$$

7.2 Высоковольтные выключатели

Для построения карты селективности необходимо рассчитать защиту трансформатора 10/0,4 кВ и кабельной линии 10 кВ. Правильный выбор устройств релейной защиты и автоматики для микрорайона города является ключевым шагом для создания надежной и безопасной системы электроснабжения. Этот процесс требует комплексного подхода, учитывающего технические, функциональные и операционные аспекты работы электрической сети, с целью обеспечения стабильности и эффективности ее функционирования.

Рассматривается выключатель ВВ–10–20/630У3, установленный в ТП на стороне ВН.

«Для релейной защиты кабельной линии применяется устройство Бреслер-0107.200 предназначены для выполнения функций релейной защиты, автоматики, измерения, регистрации, осциллографирования, сигнализации и управления для различных присоединений распределительных сетей номинальным напряжением 6-35 кВ.

Устройства предназначены для применения в схемах вторичной коммутации электрических станций, подстанций и распределительных устройств с переменным, выпрямленным или постоянным оперативным током. Терминалы Бреслер-0107.200 предназначены для установки в отсеках КРУ, КТП СН и КСО любого производителя, а также на панелях и шкафах,

расположенных в релейных залах и пультах управления электростанций и подстанций.

Реализованные в устройстве алгоритмы функций защиты и автоматики разработаны согласно требованиям к существующим системам РЗА.

Свободно-программируемая логика устройств позволяет в короткие сроки разработать устройства защиты и автоматики для замены традиционного электромеханического оборудования, а также специфические изделия по известным или нетиповым алгоритмам» [10].

Рассмотрим защиту трансформатора от перегруза. Защита трансформатора от перегрузки играет важную роль в обеспечении безопасной и надежной работы электрической системы. Перегрузка трансформатора может привести к его перегреву, повреждению обмоток или даже пожару. Для предотвращения таких ситуаций применяются различные методы и устройства защиты. Эффективная защита трансформатора от перегрузки требует комплексного подхода с использованием современных технологий и устройств, которые обеспечивают быструю реакцию на опасные условия и минимизируют риск повреждений или аварийных ситуаций.

«Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока, протекающего через выключатель, определяется формулой» [10]:

$$I_{C3} = \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot I_{p.max}, \quad (46)$$

где $k_{отс} = 1,05$ – «коэффициент отстройки;

$k_B = 0,9$ – коэффициентом возврата» [10].

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot S_{TH}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (47)$$

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,83 \text{ А}, \quad (48)$$

$$I_{сз} = \frac{1,05}{0,9} \cdot 80,83 = 94,3 \text{ А.}$$

Защита не устанавливается.

Максимальная токовая защита трансформатора. МТЗ трансформатора представляет собой защиту, предназначенную для защиты трансформатора от повреждений, вызванных превышением максимального допустимого тока в его обмотках. Эта защита важна для предотвращения перегрузки и обеспечения надежной работы трансформатора в электроэнергетической системе. Эффективная МТЗ трансформатора помогает предотвращать аварии, минимизирует простои и ремонтные работы, а также обеспечивает долговечность и надежность работы электрооборудования.

«Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока, протекающего через выключатель» [10]. Коэффициент отстройки $k_{отс} = 1,2$.

Ток срабатывания защиты определяется по формуле:

$$I_{сз} = 80,83 \cdot \frac{1,2}{0,9} = 107,8 \text{ А,}$$

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{сзввнн}, \quad (49)$$

$$I_{сз} = 1,1 \cdot \frac{7500}{25} = 330 \text{ А.}$$

«Установим реле Бреслер-0107.200 с коэффициентом возврата $k_B = 0,9$. Реле включаются во вторичные цепи трансформатора тока ТЛК–10–3У–100–0,5/10Р. Коэффициент трансформации трансформатора тока $k_I = 20$, коэффициент схемы $k_{сх} = 1$ » [10].

Коэффициент чувствительности важен для обеспечения надежной работы защитных устройств, так как он определяет их способность оперативно реагировать на возникающие проблемы в электрической системе. Правильная настройка и установка защиты с учетом коэффициента чувствительности

помогает предотвращать аварийные ситуации, минимизирует риск повреждений оборудования и обеспечивает непрерывную работу электрической системы.

$$k_{\text{ч}} = \frac{22800}{330 \cdot \frac{10}{0,4}} = 2,76 > 1,5.$$

«Защита удовлетворяет требованиям чувствительности. Ток срабатывания реле» [10] определяется по формуле:

$$I_{\text{ср.п}} = \frac{k_{\text{сх}}}{k_{\text{I}}} \cdot I_{\text{сз}}; \quad (50)$$

$$I_{\text{ср.п}} = \frac{1}{20} \cdot 330 = 16,5 \text{ А.}$$

Выдержка времени:

$$t_{\text{сз}} = t_{\text{сзВА}} + \Delta t; \quad (51)$$

где $\Delta t = 0,3 \text{ с}$ – ступень селективности для микропроцессорного реле.

$$t_{\text{сз}} = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ с,}$$

«Приведем ток» [10] срабатывания защиты к низкой стороне:

$$I_{\text{р.маx}} = I_{\text{р.маx ВН}} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}; \quad (52)$$

$$I_{\text{сзНН}} = 330 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 10^3} = 8,25 \cdot 10^3 \text{ А} = 8,25 \text{ кА.}$$

Токовая отсечка играет ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности работы электрооборудования, включая трансформаторы, линии передачи, распределительные устройства и другие элементы системы.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{кз.мах.внеш}^{(3)} ; \quad (53)$$

где $I_{кз.мах.внеш}^{(3)}$ – ток КЗ в конце зоны защищаемого объекта,

$$I_{сз} = 1,2 \cdot (8,38 \cdot \frac{0,4}{10}) = 1,3 \text{ кА.}$$

«Коэффициент чувствительности определяется по току двухфазного КЗ в начале зоны защищаемого объекта» [10]:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{сз}} ; \quad (54)$$

«Ток двухфазного КЗ определяется по формуле» [10]:

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,38 = 5,49 \text{ кА;}$$

$$k_{ч} = \frac{5,49}{1,3} = 4,22 > 2.$$

«Защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

Ток срабатывания реле» [10]:

$$I_{ср.р} = \frac{1}{20} \cdot 1,3 = 0,065 \text{ кА} = 65 \text{ А.}$$

«Принимаем к установке реле Бреслер-0107.200» [10].

Приведем ток срабатывания защиты к низкой стороне:

$$I_{\text{сзНН}} = 1,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 10^3} = 32,5 \cdot 10^3 \text{ А} = 32,5 \text{ кА}.$$

Рассмотрим выключатель ВВЭ–10–20/630 У3, установленный на сборных шинах 10 кВ РП микрорайона.

«Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока, протекающего через выключатель» [10]:

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,2}{0,9} \cdot 332,7 = 443,6 \text{ А},$$

«здесь коэффициент отстройки $k_{\text{отс}} = 1,2$.

Установим реле Бреслер-0107.200 с коэффициентом возврата $k_{\text{в}} = 0,9$. Реле включаются во вторичные цепи трансформатора тока ТЛК–10–400–У3–0,5/10Р. Коэффициент трансформации трансформатора тока $k_{\text{т}} = 80$, коэффициент схемы $k_{\text{сх}} = 1$.

Коэффициент чувствительности определяется по току двухфазного КЗ» [10]:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 8,38 \text{ кА},$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,38 = 5,46 \text{ кА};$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{5,46 \cdot 10^3}{443,6} = 12,32 > 1,5.$$

«Защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

Определим ток срабатывания реле» [10]:

$$I_{\text{ср.р}} = \frac{1}{80} \cdot 443,6 = 5,55 \text{ А.}$$

«Принимаем к установке реле Бреслер-0107.200.

Выдержка времени» [10]:

$$t_{\text{сз}} = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ с,}$$

«Приведем токи к низкой стороне» [10]:

$$I_{\text{р.максНН}} = 332,7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 10^3} = 8,3 \text{ кА;}$$

$$I_{\text{сзНН}} = 443,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 10^3} = 11,1 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу 7.

В седьмом разделе ВКР выбраны устройств релейной защиты и автоматики. Выбор устройств релейной защиты и автоматики для микрорайона города является критическим этапом проектирования электроснабжения. Эти устройства не только обеспечивают безопасность и надежность работы электрической системы, но и играют важную роль в предотвращении аварийных ситуаций и минимизации простоев. Расчет выполнен для сети 0,4 кВ микрорайона, а также для трансформатора 10/0,4 кВ и кабельной линии 10 кВ. Выбранные устройства должны обеспечивать высокий уровень надежности и обеспечивать безопасность работы электроснабжения микрорайона. Это достигается за счет правильного функционирования релейных защит, обеспечивающих быструю и точную реакцию на аварийные ситуации.

8 Расчет заземления и молниезащиты

8.1 Расчет заземления

В данном разделе выпускной квалификационной работы (ВКР) рассматривается важный аспект электротехники — расчет заземления трансформаторных подстанций (ТП) низкого напряжения 10/0,4 кВ. Заземление является ключевым элементом системы электроснабжения, обеспечивающим безопасность работы оборудования и защиту персонала от электрических ударов. В данном разделе выполняются расчеты заземления ТП 10/0,4 кВ с целью определения эффективности и соответствия данной системы требованиям нормативных документов и стандартов. В рамках работы будут учитываться особенности конструкции ТП, характеристики грунта, а также нормативные параметры, регламентирующие проектирование и эксплуатацию заземления. Заземление ТП показано на рисунке 11.

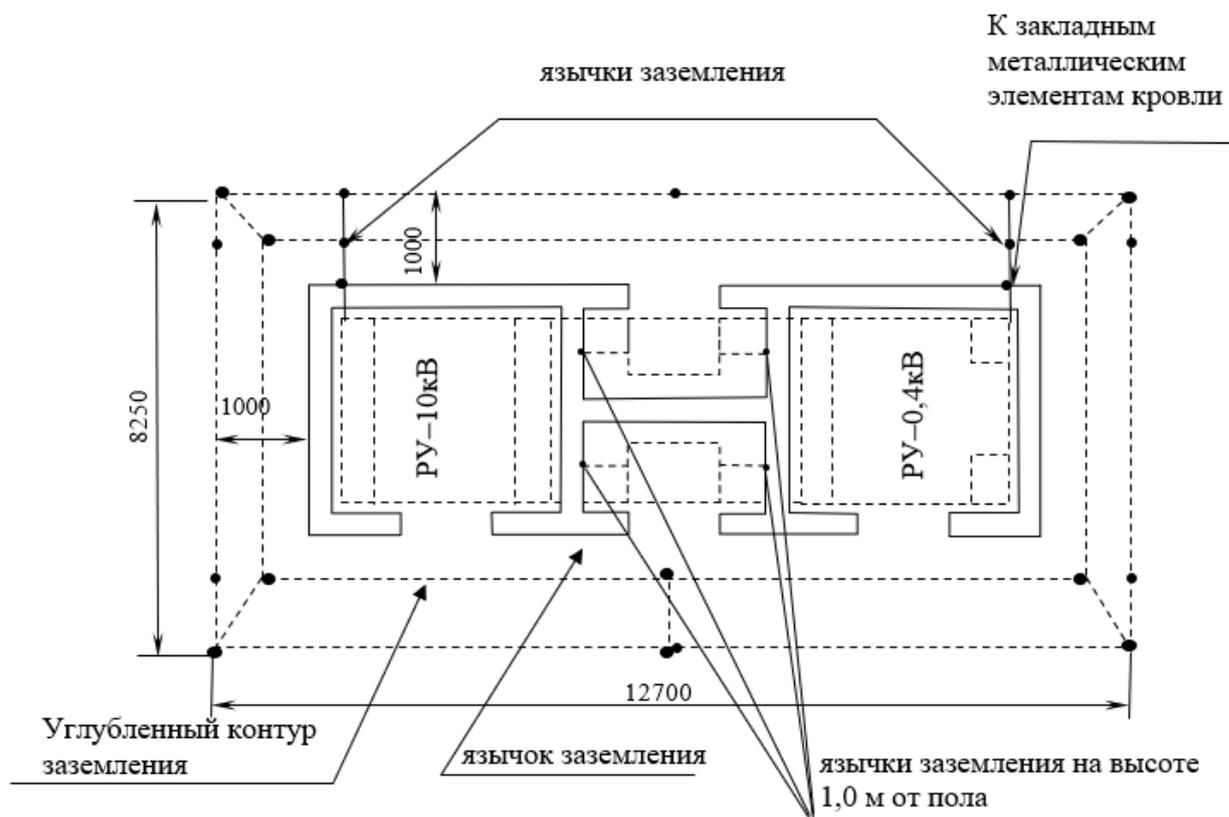


Рисунок 11 – Заземление ТП

«Сопротивление заземляющего устройства согласно гл. 1.7 ПУЭ не должно превышать 4 Ом» [13]. «Заземляющее устройство выполняется заземлителями из полосовой стали 4×40, укладываемой на дно котлована по периметру фундамента здания ТП на расстоянии не менее 300 мм от фундамента, а также вертикальными электродами длиной 5 м, расположенными вокруг здания ТП и связанными между собой и с углубленным контуром полосовой сталью 4×40. Связь внутреннего контура заземления ТП с наружным контуром выполняется в 2-х местах полосовой сталью 4×40.

В качестве вертикального электрода принята стальная труба диаметром $d=16$ мм, длина вертикального электрода $L=5$ м. На рисунке 12 показано расположение вертикального электрода в грунте» [22].

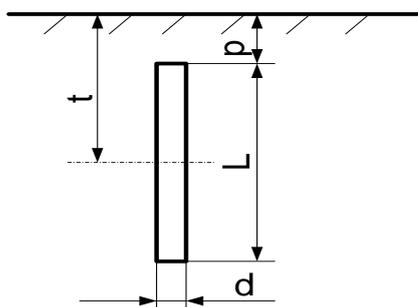


Рисунок 12 – «Схема расположения вертикального электрода» [22]

«Сопротивление растеканию одного вертикального электрода» [22]:

$$R_{в.э} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L}{4t - L} \right); \quad (55)$$

где ρ – «удельное сопротивление грунта (суглинок); $\rho=100$ Ом·м» [22].

«Размер L определяется по формуле» [22]:

$$t = \frac{L}{2} + p; \quad (56)$$

где p – «глубина, на которой расположен вертикальный электрод в земле, $p=0,7$ м» [22];

$$t = \frac{5}{2} + 0,7 = 3,2 \text{ м};$$

$$R_{\text{в.э}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 21,805 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление вертикальных электродов» [22]:

$$R_{\text{зв}} = \frac{R_{\text{в.э}}}{n \cdot K_{\text{ИВ}}}, \quad (57)$$

где n – «число вертикальных электродов, $n=6$;

$K_{\text{ИВ}}$ – коэффициент использования вертикальных электродов» [22].

« $K_{\text{ИВ}}$ определяется исходя из числа вертикальных электродов (n) и отношения расстояния между вертикальными электродами к их дине (a/L). Расстояние между вертикальными электродами равно $a_{\text{МАХ}}=9260$ м, согласно рисунку 10.

При $n=6$, $a/L=9260/5000=1,852$, $K_{\text{ИВ}}=0,71$ » [22].

$$R_{\text{зв}} = \frac{21,805}{6 \cdot 0,71} = 5,118 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя равно» [22]:

$$R_{\text{з.Г.внеш}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot m} \quad (58)$$

где ρ – «удельное сопротивление грунта, Ом·м;

b – ширина полосы, $b=0,04$ м;

m – глубина заложения горизонтального электрода, $m=0,7$ м.

$L_{ГЭвнеш}$ – длина горизонтального электрода внешнего контура заземления, м.

Согласно рисунку 9» [22]:

$$L_{ГЗ} = (9,26 + 14,02) \cdot 2 = 46,56 \text{ м.}$$

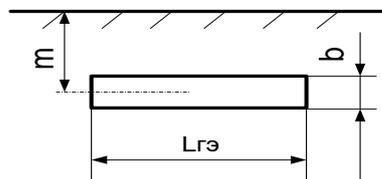


Рисунок 11 – «Схема расположения горизонтального электрода» [22]

«Заземления в грунте» [22]

$$R_{з.г.внеш} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 46,56} \ln \frac{2 \cdot 46,56^2}{0,04 \cdot 0,7} = 4,085 \text{ Ом.}$$

«Экранирование полосы другими электродами учитывается с помощью $K_{ИВ}$ коэффициентом использования горизонтальных электродов. $K_{ИВ}$ определяется с учётом отношения расстояния между вертикальными электродами к их длине a/L . Согласно» [5], $K_{ИВ}=0,48$.

$$R_{з.г.внеш}^{экр} = \frac{R_{з.г.внеш}}{K_{ИВ}}, \quad (59)$$

$$R_{з.г.экр} = \frac{4,085}{0,48} = 8,51 \text{ Ом.}$$

«Внутренний контур заземления выполнен стальной полосой прямоугольного сечения 4×40 мм.

Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя» [22]:

$$R_{з.г.}^{внутр} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L_{ГЭвнутр}^2}{b \cdot m}; \quad (60)$$

где ρ – «удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$L_{ГЭвнутр}$ – длина горизонтального электрода, согласно рисунку 9,

$L_{ГЭвнутр} = 34$ м;

b – ширина полосы, $b = 0,04$ м;

m – глубина заложения горизонтального электрода в землю, $m = 0,7$ м» [22].

$$R_{з.г.}^{внутр} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 34} \ln \frac{2 \cdot 34^2}{0,04 \cdot 0,7} = 5,3 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление горизонтальных электродов» [22]:

$$R_{зг\Sigma} = \frac{R_{з.г.внеш.}^{экр} \cdot R_{з.г.}^{внутр}}{R_{з.г.внеш.}^{экр} + R_{з.г.}^{внутр}}; \quad (61)$$

$$R_{зг\Sigma} = \frac{8,51 \cdot 5,3}{8,51 + 5,3} = 3,266 \text{ Ом.}$$

«Полное сопротивление растеканию заземлителя» [22]:

$$R_{з\Sigma} = \frac{R_{з.в.} \cdot R_{зг\Sigma}}{R_{з.в.} + R_{зг\Sigma}}, \quad (62)$$

$$R_{з\Sigma} = \frac{5,118 \cdot 3,266}{5,118 + 3,266} = 1,994 \text{ Ом,}$$

$$R_{з\Sigma} = 1,994 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

«Следовательно, установленных заземлителей на ТП достаточно» [22].

8.2 Расчет молниезащиты

Молниезащита технических объектов, включая трансформаторные подстанции (ТП), является критическим аспектом в обеспечении безопасности электроснабжения микрорайонов. Молния может привести к разрушительным последствиям для электрооборудования, включая трансформаторные устройства, что может вызвать простои в энергосистеме и ущерб для окружающих объектов.

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений, согласно СО 153–343.21.122–2003, включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система – МЗС) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС).

«Для защиты обмоток силовых трансформаторов от волн перенапряжений, приходящих с линий 0,4 кВ при наличии кабельно–воздушных линий, не экранируемых зданиями, в камерах трансформаторов на вводах 0,4 кВ устанавливаются вентильные разрядники РВН–0,5.

ТП расположена в районе с интенсивностью грозовой деятельности 40–60 ч. Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений 1 км² земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта.

Если же плотность ударов молнии в землю N_g неизвестна, ее можно рассчитать согласно Инструкции по устройству молниезащиты зданий, строений и промышленных коммуникаций СО 153–343.21.122–2003 по следующей формуле, 1/(км² · год)» [19]:

$$N_g = 6,7 \cdot T_d / 100, \quad (63)$$

где T_d – «средняя продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности» [19].

$$N_g = 6,7 \cdot 1,4/100=0,0938$$

«По здания ТП принадлежат по устройству молниезащиты ко II категории и зона защиты Б.

Для защиты здания ТП от прямых ударов молнии на крыше здания ТП выполняется молниеприемная сетка по периметру крыши с двумя спусками, соединенными с наружным контуром заземления здания ТП» [19]. Эта мера направлена на обеспечение безопасности оборудования и персонала внутри здания ТП путем отвода молнии в землю через систему заземления. Молниезащита должна выполняться в соответствии с требованиями нормативных документов и стандартов по электробезопасности, чтобы обеспечить надежную и эффективную защиту здания ТП от молнии и связанных с ней опасностей.

Выводы по разделу 8

В восьмом разделе ВКР проведен расчет системы заземления и молниезащиты для трансформаторной подстанции (ТП) напряжением 10/0,4 кВ в микрорайоне Московского района г. Санкт–Петербург. Основными результатами проведенного исследования стало решение применять для молниезащиты молниеприемной сетки по периметру крыши ТП, а также выбор необходимых разрядников на стороне 0,4 кВ ТП и выбор оптимальной схемы заземления для ТП. Это позволит значительно снизить риск повреждения электрооборудования в случае удара молнии и обеспечить надежное заземление для предотвращения опасных напряжений.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработан проект электрической сети Московского района г. Санкт–Петербург. Целью работы было разработать оптимальную инженерную концепцию, обеспечивающую надежное и эффективное электроснабжение данного микрорайона с учетом современных требований к энергетическим системам.

В первом разделе ВКР проведен анализ исходных данных по электроснабжению потребителей города. Приведена электрическая схема ПС 220/35/10 кВ «Парголово», от которой подключен рассматриваемый микрорайон. Приведены схема застройки жилого района и потребители электроэнергии жилого района.

Во втором разделе ВКР проведен расчет электрических нагрузок рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург. Рассчитаны нагрузки жилых и общественных зданий, а также уличного освещения. Суммарная активная расчетная нагрузка района составляет 5548,94 кВт. Расчет электрических нагрузок микрорайона играет ключевую роль в обеспечении энергетической эффективности, устойчивости и комфорта жизни городского населения. Точные данные по нагрузкам позволяют принимать обоснованные решения по развитию электроинфраструктуры с учетом современных требований к экологичности и энергоэффективности. Результаты данного раздела будут использованы в последующих разделах ВКР для разработки схемы электроснабжения микрорайона и оценки ее экономической эффективности.

В третьем разделе ВКР проведен выбор и расчет числа и мощности трансформаторов рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт–Петербург. Построены два варианта топологии сети и проведено их технико-экономическое сравнение.

В четвертом разделе ВКР выполнен расчет токов короткого замыкания для различных точек системы электроснабжения рассматриваемого микрорайона.

В пятом разделе ВКР выбраны проводники СЭС рассматриваемого микрорайона. Линии 10 кВ выполняются кабелями марки АПвПу2г. Линии 0,4 кВ выполнены кабелями марки АВБбШв.

В шестом разделе ВКР выбрано основное оборудование системы электроснабжения рассматриваемого микрорайона Московского района г. Санкт-Петербург. РП–10 кВ выполнено блочного типа на базе модулей БКТП «БАЛТИКА» фирмы «Элтехника» и укомплектовано ячейками КРУ–10 кВ фирмы «ЭЛТИМА». Приведены параметры данного БКРПБ, схема его соединений. Для РУ–10 кВ ТП 10/0,4 выбраны выключатели типа ВВЭ–10–31,5. Для РУ–0,4 ТП 10/0,4 и ВРУ–0,4 кВ выбраны выключатели фирмы АВВ серии Еmax2. Приведено конструктивное исполнение ТП 10/0,4 кВ.

В седьмом разделе ВКР выбраны устройств релейной защиты и автоматики. Расчет выполнен для сети 0,4 кВ микрорайона, а также для трансформатора 10/0,4 кВ и кабельной линии 10 кВ.

В восьмом разделе ВКР проведен расчет системы заземления и молниезащиты для трансформаторной подстанции (ТП) напряжением 10/0,4 кВ в микрорайоне Московского района г. Санкт–Петербург. Основными результатами проведенного исследования стало решение применять для молниезащиты молниеприемной сетки по периметру крыши ТП, а также выбор необходимых разрядников на стороне 0,4 кВ ТП и выбор оптимальной схемы заземления для ТП. Это позволит значительно снизить риск повреждения электрооборудования в случае удара молнии и обеспечить надежное заземление для предотвращения опасных напряжений.

В заключении можно отметить, что цель данной работы - проектирование системы электроснабжения нового микрорайона в Московском районе г. Санкт-Петербург - была достигнута. Были решены все поставленные задачи, включая изучение особенностей электроснабжения

района, анализ нагрузок, разработку схемы электроснабжения, расчет параметров системы. Результатом работы стал готовый к реализации проект системы электроснабжения, который обеспечивает надежное и качественное электроснабжение потребителей микрорайона с минимальными затратами.

Результатом проведенных исследований является готовый проект системы электроснабжения нового микрорайона города, который учитывает все вышеперечисленные аспекты. Разработанная концепция позволяет обеспечить энергетическую устойчивость, безопасность и эффективность функционирования микрорайона в течение длительного периода эксплуатации.

Предложенный проект может быть использован в качестве основы для дальнейшей реализации и строительства системы электроснабжения данного микрорайона. Данный подход способствует современному развитию городской инфраструктуры, повышению качества жизни жителей и оптимизации энергопотребления в городской среде.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2003. 174 с.
2. Вихман А.Е. Контрольная работа «Электроснабжение жилого дома». Методические указания и задания. М.: МИЭЭ, 2012.
3. Гайсаров Р.В., Лисовская И.Т. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 61 с.
4. ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ // Консультант плюс: справочно–правовая система
5. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения // Консультант плюс: справочно–правовая система
6. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М. : Издательство «Мастерство». М, 2002. 319 с.
7. Костин В.Н. Распопов Е.В., Родченко Е.А. Передача и распределение электроэнергии. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2004.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. –2–е изд. М.: Интермет Инжиниринг, 2006 672 с.
9. Можаяева С.В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. 3–е изд., доп. и перераб. СПб.: Издательство «Лань», 2003. 200 с.
10. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. СПб.: «БХВ–ПЕТЕРБУРГ», 2013. 608 с.
11. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справочник: учеб. пособие для вузов. М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2006. 479 с.

12. Письмо Минстроя России от 22.02.2024 № 10096–ИФ/09 «О расчете индексов изменения сметной стоимости строительства по группам однородных строительных ресурсов на I квартал 2024 года, предназначенных для определения сметной стоимости строительства ресурсно–индексным методом»

13. Правила устройства электроустановок. – 7–е изд., перераб. и доп. // Консультант плюс: справочно–правовая система

14. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие для вузов. под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. М.: Академия, 2006. 411 с.

15. РД 34.20.185–94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей // Консультант плюс: справочно–правовая система

16. Сборник укрупненных показателей стоимости строительства (реконструкции) подстанций и линий электропередачи для нужд ОАО «Холдинг МРСК», Москва, 2012. 71 стр.

17. СН 541–82 Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов // Консультант плюс: справочно–правовая система

18. СО 153–343.21.122–2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, строений и промышленных коммуникаций // Консультант плюс: справочно–правовая система

19. СП 256.1325800.2016. Свод правил. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа // Консультант плюс: справочно–правовая система

20. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д. Л. Файбисовича. М.: Изд–во НЦ ЭНАС, 2006. 320 с.

21. Технические характеристики БКРТП 10 кВ «Балтика» <http://www.elteh.ru/products/11/52/> (дата обращения 12.03.2024)

22. Трансформаторные подстанции ГК «Таврида Электрик»
www.tavrida.com/upload/iblock/73b/73bd6a70f29c517682112d83069d8138.pdf
(дата обращения 12.03.2024)

23. Шахнин В.А. Рощина С.И. Электроснабжение микрорайона многоэтажной жилой застройки : учеб. пособие. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. 107 с.

24. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М.: Форум, 2005. 214 с.

25. Электрическое оборудование, производства компании АВВ
<http://www.abb.com.ru> (дата обращения 12.03.2024)