

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.В. Савина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Проектирование системы электроснабжения микрорайона Парковый в г. Большой камень Приморского края

Исполнитель

студент группы 842об3

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Ф.М. Мирахматов

Руководитель

доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Г. Ротачева

Консультант по

безопасности и

экологичности

доцент, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

доцент, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Н. Козлов

Благовещенск 2022

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.В. Савина  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

К выпускной квалификационной работе студента Мирахматова Фирдавса Муксидбековича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения микрорайона Парковый в г. Большой камень Приморского края

(утверждено приказом от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: данные полученные на производстве

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

Определение количества и месторасположения КТП ; Выбор силовых трансформаторов 6/0,4 кв; Выбор типа и сечения кабельных линий; Определение расчетных нагрузок отдельных потребителей; Выбор оборудования ПС Садовая.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) План расположения микрорайона «Парковый» в Приморском крае; Подробная однолинейная схема электроснабжения микрорайона «Парковый»; Подробная однолинейная схема электроснабжения микрорайона «Парковый», План оборудования ПС 110/6/6 кВ «Садовая» после модернизации, План ТП 6/0,4 кВ.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) Консультант по безопасности и экологичности доцент, канд.техн.наук А.Б. Булгаков

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель выпускной квалификационной работы: Ротачева Алла Георгиевна, доцент  
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): \_\_\_\_\_  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 113 с., 12 рисунков, 30 таблиц, 151 формулу, 30 источников, 4 приложения.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, СИЛОВОЙ  
ТРАНСФОРМАТОР, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ,  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ОГРАНИЧИТЕЛЬ  
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР,  
ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ,  
МОЛНИЕЗАЩИТА

При выполнении данной работы основным вопросом который будет решен это проектирование современной системы электроснабжения потребителей жилого микрорайона Парковый Приморского края с центром питания подстанция Садовая а так же вопросы связанные с выбором оборудования самого источника питания. Будут рассмотрены вопросы связанные с выбором современного оборудования для системы электроснабжения.

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- АВР – автоматическое включение резерва;
- АПВ – автоматическое повторное включение;
- ВН – выключатель нагрузки;
- КЗ – короткое замыкание;
- КТП – комплектная трансформаторная подстанция;
- КУ – компенсирующее устройство;
- ЛЭП – линия электропередачи;
- МТЗ – максимальная токовая защита;
- ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный;
- ОУ – огнетушитель углекислотный;
- ПС – подстанция;
- РЗ - релейная защита;
- ТН – трансформатор напряжения;
- ТО – токовая отсечка;
- ТТ – трансформатор тока.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Климатическая характеристика	9
2 Характеристика потребителей электроэнергии 0,4 кВ	10
3 Характеристика источника питания рассматриваемого района	12
4 Определение количества и месторасположения КТП	14
5 Определение расчетных нагрузок отдельных потребителей	16
6 Выбор силовых трансформаторов 6/0,4 кВ	22
7 Расчет нагрузок на стороне высокого напряжения 6 кВ КТП	24
8 Расчет суммарных нагрузок микрорайона Парковый	27
9 Разработка схемы электроснабжения микрорайона Парковый	28
10 Расчет потокораспределения в сети 6 кВ	30
11 Выбор типа и сечения кабельных линий	33
12 Расчет токов короткого замыкания	35
12.1 Расчет токов короткого замыкания в питающей сети	35
13 Выбор оборудования ПС Садовая	43
13.1 Выбор и проверка выключателей 110 кВ	43
13.2 Выбор и проверка выключателей 6 кВ	44
13.3 Выбор и проверка разъединителей 110 кВ	45
13.4 Выбор высокочастотного заградителя связи	45
13.5 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 110 кВ	46
13.6 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 6 кВ	47
13.7 Выбор трансформаторов тока	48
13.8 Выбор трансформаторов напряжения	50
13.9 Выбор трансформаторов собственных нужд	52
13.10 Выбор гибкой ошиновки	53
13.11 Выбор жестких шин на напряжении 6 кВ	54
13.12 Выбор опорных изоляторов	55

14	Расчет токов КЗ в сети 6 кВ	57
15	Проверка кабельных линий по термической стойкости	60
16	Проверка кабельных линий 6 кВ по допустимой потере напряжения	62
17	Расчет устройств молниезащиты ПС	64
18	Расчет устройств заземления	68
19	Релейная защита	73
19.1	Дифференциальная защита	73
19.2	Защита от перегрузки	75
19.3	Максимальная токовая защита	76
19.4	Газовая защита	76
19.5	Релейная защита линии 6 кВ	76
20	Защита трансформаторов 6/0,4 кВ	79
21	Расчет экономических показателей	80
22	Устройство резервирования отказа выключателя	83
23	Автоматический ввод резерва	84
24	Автоматическая частотная разгрузка	85
25	Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии	86
26	БЭМП	87
27	Безопасность и экологичность	88
27.1	Безопасность	88
27.2	Экологичность	94
27.3	Чрезвычайные ситуации	98
	Заключение	110
	Библиографический список	111
	Приложение А - Расчет мощности нагрузки	114
	Приложение Б – Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ	115
	Приложение В – Определение расчетных мощностей 6 кВ КТП	116
	Приложение Г – Данные о потребителях	117

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Приморском крае в городе Большой Камень на этапе строительства находится микрорайон Парковый. Здесь предполагается строительство значительного количества жилых многоэтажных домов, школа детский сад, магазины торговый центр, гаражи, административные здания. Как и для любого жилого района необходимо наличие надежной системы электроснабжения т.к. в настоящее время представить существование человека без использования электрической энергии невозможно.

Даная выпускная квалификационная работа, рассматривая проектирование такой системы, которая будет предназначена для надежного и качественного электроснабжения всех потребителей, расположенных в данном микрорайоне Парковый.

### Целесообразность проектирования системы электроснабжения

В основе жизнедеятельности любого жилого района находится значительное количество различных электроприемников для каждого из которых неотъемлемой частью является необходимость в надежной системе электроснабжения, данная я система должна значительному количеству требований в частности предоставляет высокую степень надежности и качества поставляемой электрической энергии, позволять подключать дополнительных потребителей.

Поэтому в данной работе решается одна из основных задачи при проектировании жилого микрорайона – проектирование современной системы электроснабжения которая будет выполнять все возложенные на нее обязанности.

В данной работе будут получены все технические характеристики необходимого оборудования для реализации данного проекта

Цель представленной работы – предоставление готового проекта системы электроснабжения микрорайона Парковый с указанием всех технических характеристик необходимого для реализации оборудования

Актуальность представленной работы – заключается в том, что в настоящее время для рассматриваемого микрорайона необходим проект системы электроснабжения, которая бы соответствовала всем требованиям, предъявляемым к данному рода проектам в части экономичности, качества и надежности электроснабжения. При выполнении работы решены следующие основные задачи:

- Расчет электрических нагрузок потребителей, размещение трансформаторных подстанций в рассматриваемом микрорайоне;

- Выбор трансформаторов трансформаторных подстанциях с последующей компенсацией реактивной мощности при необходимости и расчетом коэффициентов загрузки;

- Выбор и проверка кабельных линий 6 кВ для питания трансформаторных подстанций;

- Модернизация источника питания включающая выбор основного электротехнического оборудования : выключатели разъединители, измерительные трансформаторы тока и напряжения, гибкие, жесткие шины, ограничители перенапряжений, высокочастотные заградители связи

При выполнении данной работы были использованы следующие программные продукты как: Word, Excel, Visio. Mat soft: Mathcad.

Графическая часть ВКР выполнена на шести листах формата А1.

Ожидаемые результаты от выполнения данной работы это определение фактических данных о нагрузке на стороне низкого напряжения КТП, определение номинальной мощности количества и типа трансформаторов на КТП, определение расчетной мощности нагрузки всего жилого комплекса, определение технических данных необходимого оборудования на источнике питания ПС Садовая, получение данных о фактических токах короткого замыкания в характерных точках.



## 1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Выбор электрооборудования, проектирование конструкций распределительных устройств ПС и линий электропередачи ведется с учетом климатических условий.

Наивысшая и низшая температуры за год позволят правильно принять к установке электротехническое оборудование соответствующего климатического исполнения.

Климат Приморского края - муссонный. Зима хотя и короче, чем в других частях Дальнего Востока, но холодная и малоснежная. Средняя температура января - 20, а на морском побережье - 12. Летом на равнинах средняя температура + 20, а на побережье +12 - 16. Специфика погодно - климатических условий Приморского края определяется особенностями географического положения на границе Евро-Азиатского континента и Тихого океана.

Основные расчетные данные необходимые для выполнения работы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Климатические параметры

Климатические параметры	Значение
Район по ветру	IV
Давление ветра, Па	650
Район по гололеду	IV
Нормативная стенка гололеда, мм	25
Низшая температура воздуха, °С	-31,4
Среднегодовая температура воздуха, °С	4,9
Высшая температура воздуха, °С	33,6

Указанные данные как указывалось ранее используем в дальнейших расчетах при выборе оборудования и проектировании системы электроснабжения.



Вся необходимая для последующих расчетов информация представлена в таблице 2 с указанием количества потребителей

Таблица – 2 Данные о потребителях

Номер на схеме	Потребитель				
	Тип	Количество потребителей	Количество квартир в доме (мест)	этажность	Удельная мощность (кВт/ед.)
1	Многоквартирный дом	1	222 кв	14	1,23
	Парикмахерская	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,054
	Продовольственный магазин	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
2	Многоквартирный дом	1	222 кв	14	1,23
	Магазин строительных материалов	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
	Школа иностранных языков	1	25 уч	1	0,17
3	Многоквартирный дом	1	222 кв	14	1,23
	Кафе	1	50 мест	1	1,04
	Магазин алкогольной продукции	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
4,5,6,7,8,9	Многоквартирный дом	6	224 кв	14	1,23
10	Детский сад	1	200 мест	2	0,46
11	Торговый центр	1	1000 м <sup>2</sup>	2	0,25
12	Административное здание	1	800 м <sup>2</sup>	1	0,054
13	Магазин	1	120	1	0,25
14	Школа	1	400 учащихся	3	0,17
15	Административное здание	1	200 м <sup>2</sup>	1	0,054
16	Многоквартирный дом	1	300 кв	10	1,23
	Продовольственный магазин	1	100 м <sup>2</sup>	1	0,25
	Магазин алкогольной продукции	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
17	Гаражный массив	20	-	1	0,2
18	Склад	1	400 м <sup>2</sup>	1	0,008
-	Освещение улиц	-	2 км	-	2,0

### 3 ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РАССМАТРИВАЕМОГО РАЙОНА

В настоящее время на этапе проектирования предполагается питание нескольких микрорайонов на территории опережающего развития в городе Большой Камень включая Парковый от ПС Садовая номинальным напряжением 110/6/6 кВ. Данный источник питания будет единственным в данном районе электрических сетей поэтому он должен соответствовать требованиям по надежности и качеству электроснабжения потребителей, исходя из указанных условий на ней должны быть расположены два силовых трансформатора, подробная однолинейная схема данного источника питания представлена на рисунке 2.

На источнике питания установлены трансформаторы типа ТРДН 40000/110/6/6 это трехфазные силовые трансформаторы с расщепленной обмоткой низкого напряжения номинальной мощностью 40 МВА, номинальным напряжением 110/6/6 кВ системой охлаждения в виде естественной циркуляции масла внутри бака и принудительной циркуляции воздуха через охладители в виде дутья, трансформаторы оснащены устройством регулирования напряжения под нагрузкой в виде РПН.

Распределительное устройство высокого напряжения 110 кВ выполнено по транзитной схеме: «мостик с выключателями в цепях трансформаторов», данная схема применяется на проходных двух трансформаторных подстанциях номинальным напряжением 35-220 кВ с двухсторонним питанием при необходимости сохранения транзита при КЗ (повреждении) на трансформаторе в нормальном режиме работы ПС (при равномерном графике нагрузок).

На стороне низкого напряжения имеются два распределительных устройства номинальным напряжением 6 кВ выполненные по схеме двух секций шин с секционным выключателем.

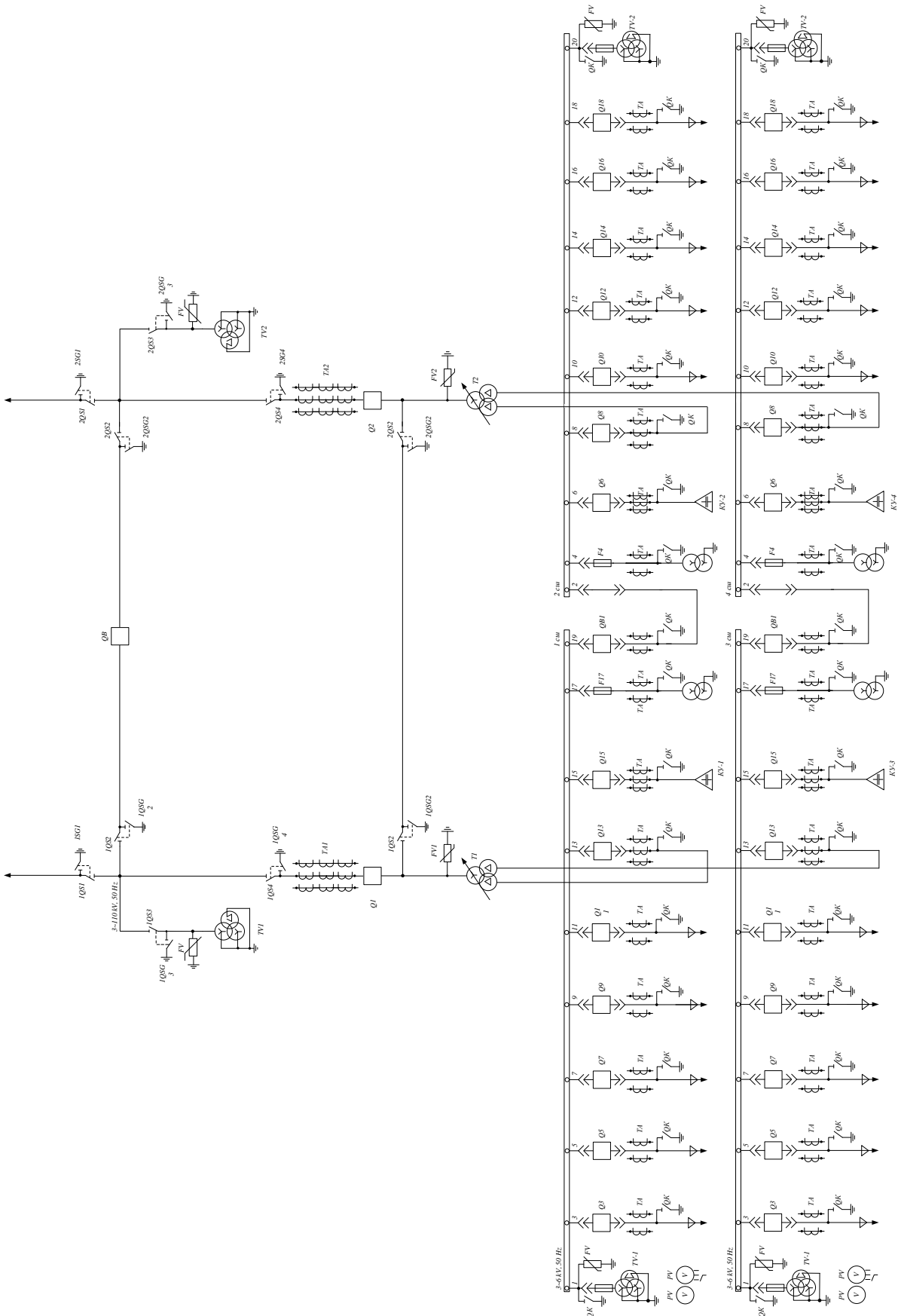


Рисунок 2 – Подробная однолинейная схема источника питания ПС Садовая

110/6/6 кВ

#### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ КТП

В данном разделе определяем месторасположение и количество комплектных трансформаторов подстанций необходимых для питания потребителей микрорайона Парковый, при выполнении данной задачи необходимо учитывать различные условия – доступность для обслуживания (минимальную протяженность кабельных линий) и самих трансформаторных подстанций, трансформаторные подстанции должны по возможности быть расположены в центре электрических нагрузок.

После анализа потребителей и их географического места расположения принимаем решение разделить микрорайон на несколько частей при этом для питания каждой части предусматривается отдельная КТП, схема расположения КТП представлена на рисунке 3.

Распределение потребителей по каждой КТП представлено в таблице 3

Таблица – 3 Распределение потребителей

Номер КТП	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Потребители на плане	1,2,10	3,11,7	4,12	5,8	6,9	13,14,15,16,17,18

Таким образом микрорайон он разделен на 6 частей для каждой из которых будет производиться расчет электрических нагрузок и соответствующий выбор номинальной мощности трансформаторов КТП



Рисунок 3 – План расположения КТП в микрорайоне Парковый

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК ОТДЕЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Мощность нагрузки жилого здания определяется по следующей формуле (без наличия различных общественных помещений) [3]:

$$P_{Pжд} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} + k_c \cdot \Sigma P_l + P_{кот} \quad (1)$$

где  $P_{кв.уд}$  – удельная мощность приходящаяся на одну квартиру, кВт;

$n_{кв}$  – количество квартир в доме, шт.;

$k_c$  – коэффициент спроса лифтовых установок.

$P_l$  – номинальная мощность электродвигателя лифтовой установки, кВт.

$P_{кот}$  – номинальная мощность электрического котла, кВт.

Реактивная составляющая мощности нагрузки данного потребителя по следующей формуле:

$$Q_{Pжд} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} \cdot tg \phi_{кв} + k_c \cdot \Sigma P_l \cdot tg \phi_l \quad (2)$$

где  $tg \phi_{кв}$  – коэффициент мощности нагрузки квартиры;

$tg \phi_l$  – коэффициент мощности нагрузки лифтов;

Для торговых помещений активная расчетная мощность определяется как [3]:

$$P_{Pторг} = P_{торг.уд} \cdot M \quad (3)$$

где  $P_{торг.уд}$  – расчетная активная мощность на один квадратный метр;

$M$  – площадь торгового помещения (м<sup>2</sup>).

Реактивная мощность нагрузки для торгового помещения:

$$Q_{Pторг} = P_{Pторг} \cdot tg \phi_{торг} \quad (4)$$

где  $tg \phi_{торг}$  – коэффициент мощности для торговых помещений.



Для административного здания активная расчетная мощность определяется как:

$$P_{Radm} = P_{adm.yd} \cdot M \quad (5)$$

где  $P_{adm.yd}$  – расчетная активная мощность на один квадратный метр здания;

$M$  – площадь административного здания ( $m^2$ ).

Реактивная мощность нагрузки для административного здания:

$$Q_{Radm} = P_{Radm} \cdot tg\phi_{adm} \quad (6)$$

где  $tg\phi_{adm}$  – коэффициент мощности для административного здания.

Для кафе активная расчетная мощность:

$$P_{Rкафе} = P_{кафе.yd} \cdot N \quad (7)$$

где  $P_{кафе.yd}$  – расчетная активная мощность на одно место;

$N$  – количество мест в кафе (ед).

Реактивная мощность нагрузки для кафе:

$$Q_{Rкафе} = P_{Rкафе} \cdot tg\phi_{кафе} \quad (8)$$

где  $tg\phi_{кафе}$  – коэффициент мощности для кафе.

Для детского сада активная расчетная мощность определяется как:

$$P_{Pdc} = P_{dc.yd} \cdot N \quad (9)$$

где  $P_{dc.yd}$  – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на одно место в детском саду;

$N$  – количество мест в детском саду (ед).

Реактивная мощность нагрузки для детского сада:

$$Q_{Pdc} = P_{Pdc} \cdot tg\phi_{dc} \quad (10)$$

где  $tg\phi_{dc}$  – коэффициент мощности для детского сада.

Для школы активная расчетная мощность определяется как:

$$P_{Ршк} = P_{шк.уд} \cdot N \quad (11)$$

где  $P_{шк.уд}$  – расчетная активная мощность на одно место;

$N$  – количество мест в школе (ед).

Реактивная мощность нагрузки для школы:

$$Q_{Ршк} = P_{Ршк} \cdot tg\phi_{шк} \quad (12)$$

где  $tg\phi_{шк}$  – коэффициент мощности для детского сада.

Для гаражей активная расчетная мощность определяется как:

$$P_{Ргар} = P_{гар.уд} \cdot N \quad (13)$$

где  $P_{гар.уд}$  – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на один гараж;

$N$  – количество гаражей (ед.).

Реактивная мощность нагрузки для гаражей:

$$Q_{Ргар} = P_{Ргар} \cdot tg\phi_{гар} \quad (14)$$

где  $tg\phi_{гар}$  – коэффициент мощности для гаражей.

Для склада активная расчетная мощность определяется как:

$$P_{Рскл} = P_{скл.уд} \cdot M \quad (15)$$

где  $P_{скл.уд}$  – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на один квадратный метр помещения склада;

$M$  – площадь помещения склада (м<sup>2</sup>).

Для склада:

$$Q_{Рскл} = P_{Рскл} \cdot tg\phi_{скл} \quad (16)$$

где  $tg\phi_{скл}$  – коэффициент мощности для гаражей.

Для освещения улиц расчетная мощность определяется как:

$$P_{Pocв} = P_{ocв.уд} \cdot L \quad (17)$$

где  $P_{ocв.уд}$  – удельная расчетная активная мощность приходящаяся на один километр освещаемой территории;

$L$  – протяженность освещенной территории (км).

Реактивная мощность нагрузки для освещения улиц:

$$Q_{Pocв} = P_{Pocв} \cdot tg\phi_{ocв} \quad (18)$$

где  $tg\phi_{ocв}$  – коэффициент мощности для освещения улиц.

Учитывая тот факт что нагрузка является смешанной следовательно определять общую расчетную мощность нагрузки КТП будем с учетом коэффициента совмещения максимумов нагрузки по следующей формуле [3]:

$$P_{Pобц} = P_{макс} + \sum P_{потри} \cdot k_{yi} \quad (19)$$

$$Q_{Pобц} = Q_{макс} + \sum Q_{потри} \cdot k_{yi} \quad (20)$$

где  $P_{макс}$ ,  $Q_{макс}$  – наибольшая расчетная мощность нагрузки потребителя кВт, квар;

$P_{потри}$ ,  $Q_{потри}$  – расчетная мощность нагрузки остальных потребителей, кВт, квар;

$k_{yi}$  – коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок каждого отдельного потребителя.

Расчет активной мощности:

$$P_{Pжд} = 1,27 \cdot 446 + 0,6 \cdot 15 \cdot 16 + 300 \cdot 2 = 1328,15 \text{ (кВт)}$$

Расчет реактивной мощности:

$$Q_{Pжд} = 1,27 \cdot 446 \cdot 0,2 + 0,6 \cdot 15 \cdot 16 \cdot 0,6 = 210,48 \text{ (квар)}$$

Для кафе активная расчетная мощность:

$$P_{Pкафе} = 1,04 \cdot 50 = 52,0 \text{ (кВт)}$$

Реактивная мощность нагрузки кафе:

$$Q_{P_{\text{кафе}}} = 52,0 \cdot 0,2 = 10,4 \text{ (квар)}$$

Для магазина алкогольной продукции активная расчетная мощность:

$$P_{P_{\text{торг}}} = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \text{ (кВт)}$$

Реактивная мощность нагрузки магазина:

$$Q_{P_{\text{торг}}} = 12,5 \cdot 0,7 = 8,75 \text{ (квар)}$$

Определяем общую мощность нагрузки от всех потребителей с учетом совмещения максимумов нагрузки (учитываем что потребитель с наибольшей нагрузкой это жилые дома) [1]:

$$P_{P_{\text{общ}}} = P_{P_{\text{жд}}} + P_{P_{\text{торг}}} \cdot k_{y1} + P_{P_{\text{кафе}}} \cdot k_{y2} \quad (21)$$

$$Q_{P_{\text{общ}}} = Q_{P_{\text{жд}}} + Q_{P_{\text{торг}}} \cdot k_{y1} + Q_{P_{\text{кафе}}} \cdot k_{y2} \quad (22)$$

Расчет активной мощности:

$$P_{P_{\text{общ}}} = 1328,15 + 12,5 \cdot 0,6 + 52,0 \cdot 0,7 = 1372,16 \text{ (кВт)}$$

Расчет реактивной мощности:

$$Q_{P_{\text{общ}}} = 210,48 + 8,75 \cdot 0,6 + 10,4 \cdot 0,7 = 223,01 \text{ (квар)}$$

Определяем полную мощность нагрузки по формуле:

$$S_{P_{\text{общ}}} = \sqrt{P_{P_{\text{общ}}}^2 + Q_{P_{\text{общ}}}^2} \quad (23)$$

$$S_{P_{\text{общ}}} = \sqrt{1372,16^2 + 223,01^2} = 1346,56 \text{ (кВА)}$$

Проводим расчет остальных КТП результаты в таблице 4.

Таблица 4 - Расчет мощности нагрузки

Номер КТП	$P_{Робц}$ (кВт)	$Q_{Робц}$ (квар)	$S_{Робц}$ (кВА)
1	1383,45	222,37	1401,21
2	1347,16	223,01	1346,56
3	702,56	124,86	713,57
4	1353,28	208,26	1369,21
5	1353,28	208,26	1369,21
6	870,5	166,17	886,22

Расчет так же приведен в приложении А.

Согласно полученным значениям далее проводим выбор типа количества и номинальной мощности силовых трансформаторов для представленных КТП.

## 6 ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6/0,4 КВ

Требуемая мощность силового трансформатора определяется по следующей формуле [1]:

$$S_{\text{треб}} = \frac{S_{\text{Робщ}}}{n_T \cdot k} \quad (24)$$

где  $S_{\text{Робщ}}$  - общая полная расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ КТП;

$n_T$  - количество трансформаторов КТП;

$k$  - оптимальный коэффициент загрузки трансформатора (для двух трансформаторных КТП принимается равным 0,7):

$$k_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{Робщ}}}{n_T \cdot S_{\text{тном}}} \quad (25)$$

$$k_{\text{нав}} = \frac{S_{\text{Робщ}}}{(n_T - 1) \cdot S_{\text{тном}}} \quad (26)$$

где  $S_{\text{тном}}$  - номинальная мощность выбранного трансформатора.

Для двух трансформаторной КТП [1]:

$$k_{\text{норм}} \leq 0,7$$

$$k_{\text{нав}} \leq 1,4$$

Рассмотрим подробно пример расчета мощности трансформатора для КТП №1:

$$S_{\text{треб}} = \frac{1401,21}{2 \cdot 0,7} = 1000,86 \text{ (кВА)}$$

По расчетным данным выбираем трансформатор типа ТМГ-1000/6 компании СВЭЛ, номинальной мощностью 1000 кВА.

Далее проверяем выбранный трансформатор по фактическому коэффициенту загрузки как в нормальном так и в послеаварийном режиме:

$$k_{норм} = \frac{1401,21}{1000 \cdot 2} = 0,7$$

$$k_{нав} = \frac{1401,21}{1000} = 1,4$$

Полученные коэффициенты загрузки удовлетворяют ранее указанным условиям, следовательно, номинальная мощность трансформатора выбрана верно, далее проводим расчет для остальных КТП, результаты расчета сводим в таблицу 5:

Таблица 5 – Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ

Номер КТП	$S_{Робц}$ (кВА)	$S_{треб}$ (кВА)	$S_{тном}$ (кВА)	$k_{норм}$	$k_{нав}$
1	1401,21	1000,86	1000,00	0,70	1,40
2	1346,56	961,83	1000,00	0,67	1,35
3	713,57	509,69	630,00	0,57	1,13
4	1369,21	978,01	1000,00	0,68	1,37
5	1369,21	978,01	1000,00	0,68	1,37
6	886,22	633,01	1000,00	0,44	0,89

Расчет считается окончанным так как коэффициенты загрузки не превышают допустимых значений, так же приведен в приложении Б

Далее проводим расчет мощности потребляемой трансформаторами из сети 6 кВ – приведенной мощности включающей в себя мощность нагрузки на шинах 0,4 кВ и мощности потерь электрической энергии в трансформаторах.

## 7 РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА СТОРОНЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ 6 КВ КТП

Паспортные данные трансформаторов приведены в таблице 6

Таблица 6 – Характеристики трансформаторов ТМГ 6/0,4 кВ

Тип трансформатора	Потери холостого хода (кВт)	Потери короткого замыкания (кВт)	Напряжение короткого замыкания (%)	Ток холостого хода (%)
ТМГ-630/6	1,15	6,38	5,5	0,6
ТМГ-1000/6	2,30	11,00	6,0	0,6

Расчет мощности потребляемой из сети 6 кВ необходим в дальнейших расчетах (учитываются потери мощности в силовых трансформаторах), а так же правильно выбрать оборудование на питающей ПС Садовая . Расчет потерь активной мощности в трансформаторах КТП определяем через паспортные данные и коэффициент загрузки фактический по следующей формуле [2]:

$$\Delta P_m = \Delta P_k \cdot k_{норм}^2 + \Delta P_x \quad (27)$$

Потери реактивной мощности (квар):

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S_{Робщ}^2}{100 \cdot S_{тном}} + \frac{i_x \cdot S_{тном}}{100} \quad (28)$$

где  $u_k$  - напряжение короткого замыкания (%)

$i_x$  - ток холостого хода трансформатора (%)

$\Delta P_x$  - потери активной мощности в режиме холостого хода трансформатора (кВт)

$\Delta Q_x$  - потери реактивной мощности в режиме холостого хода трансформатора (квар)



Приводим пример расчета на КТП №1:

$$\Delta P_m = 2 \cdot 11,0 \cdot 0,7^2 + 2 \cdot 2,3 = 15,38 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_m = \frac{2 \cdot 6,0 \cdot (0,5 \cdot 1401,21)^2}{100 \cdot 1000} + \frac{0,6 \cdot 1000}{100} = 64,90 \text{ (квар)}$$

Определяем полную мощность потерь в трансформаторах:

$$\Delta S_m = \sqrt{\Delta P_m^2 + \Delta Q_m^2} \quad (29)$$

$$\Delta S_m = \sqrt{15,38^2 + 64,90^2} = 66,7$$

Определяем мощность нагрузки на шинах высокого напряжения данной КТП путём сложения расчетной мощности нагрузки на шинах низкого напряжения и потерь мощности в трансформаторах [2]:

$$P_{рвн} = P_{Робц} + \Delta P_m \quad (30)$$

$$Q_{рвн} = Q_{Робц} + \Delta Q_m \quad (31)$$

$$S_{рвн} = S_{Робц} + \Delta S_m \quad (32)$$

где  $P_{Робц}$  - расчетная активная мощность нагрузки на шинах низкого напряжения КТП (кВт)

$Q_{Робц}$  - расчетная реактивная мощность нагрузки на шинах низкого напряжения КТП (квар)

$S_{Робц}$  - расчетная полная мощность нагрузки на шинах низкого напряжения КТП (кВА)

Для КТП №1:

$$P_{рвн} = 1383,45 + 15,38 = 1383,83 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{рвн} = 223,01 + 64,9 = 287,27 \text{ (квар)}$$

$$S_{рвн} = 1401,21 + 66,7 = 1467,91 \text{ (кВА)}$$

Проводим расчет для остальных КТП результаты сводим в таблицу 7

Таблица 7 – Определение расчетных мощностей 6 кВ КТП

Номер КТП	$P_{Робц}$ (кВт)	$Q_{Робц}$ (квар)	$S_{Робц}$ (кВА)	$\Delta P_m$ (кВт)	$\Delta Q_m$ (квар)	$\Delta S_m$ (кВА)	$P_{рвн}$ (кВт)	$Q_{рвн}$ (квар)	$S_{рвн}$ (кВА)
1	1383,45	222,37	1401,21	15,38	64,9	66,70	1398,83	287,27	1467,91
2	1347,16	223,01	1346,56	14,78	62,35	64,07	1361,94	285,36	1410,63
3	702,56	124,86	713,57	7,83	33,04	33,95	710,39	157,90	747,52
4	1353,28	208,26	1369,21	15,03	63,39	65,15	1368,31	271,65	1434,36
5	1353,28	208,26	1369,21	15,03	63,39	65,15	1368,31	271,65	1434,36
6	870,5	166,17	886,22	9,73	41,03	42,17	880,23	207,20	928,39
всего				77,78	328,10	337,20	7088,01	1481,03	7423,18

Расчет так же приведен в приложении В

Потери мощности в трансформаторе являются его неотъемлемой частью И поэтому они всегда присутствует Независимости от того работы трансформатора под нагрузкой либо работает на холостом ходу Поэтому разделы проводится расчёт потерь мощности которые дальше будут складываться с мощностью нагрузки на шинах низкого напряжения и в результате получится мощность проведённая к высокой стороне трансформаторной подстанции все потери мощности в трансформаторе могут быть обусловлено работой магнитного сердечника либо обмоток трансформатора также они могут уходить как на нагрев так и на создание магнитного поля внутри конструкции силового трансформатора что он магнитное поле в силовом трансформаторе Может быть организовано как основным магнитопровода также и кривыми токами которые создают да поля приводящие К соответственно потерям реактивной мощности также следует отметить потери на нагрев в обмотках силового трансформатора и потери на нагрев в магнитопровода работа трансформатора связано с потерями минимальными на звуковое давление

## 8 РАСЧЕТ СУММАРНЫХ НАГРУЗОК МИКРОРАЙОНА ПАРКОВЫЙ

Расчет соответственно проводим для каждой мощности по следующей формуле [2]:

$$P_p = k_C \cdot \Sigma(P_{pвн}) \quad (33)$$

$$Q_p = k_C \cdot \Sigma(Q_{pвн}) \quad (34)$$

$$S_p = k_C \cdot \Sigma(S_{pвн}) \quad (35)$$

где  $k_C$  - коэффициент совмещения максимумов нагрузки трансформаторов КТП, при количестве трансформаторов от 11 до 20 принимаем равным 0,75

$S_{pвн}$ ,  $P_{pвн}$ ,  $Q_{pвн}$  - расчетная полная, активная, реактивная мощность нагрузки на шинах низкого напряжения КТП

$$P_p = 0,75 \cdot 7088,01 = 5316,00 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p = 0,75 \cdot 1481,03 = 1110,78 \text{ (квар)}$$

$$S_p = 0,75 \cdot 7423,18 = 5567,38 \text{ (кВА)}$$

Полученные данные позволяют выполнить выбор и проверку питающих кабельных линий при дальнейших расчетах.

## 9 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МИКРОРАЙОНА ПАРКОВЫЙ

В данном разделе проводим разработку системы электроснабжения рассматриваемого микрорайона при этом необходимо учитывать следующие ограничения: категория надежности электроснабжения потребителей (вторая и третья) подразумевает наличие двух независимых источников питания в частности ими должны выступать две секции шин источника питания в данном случае ПС Садовая, разрабатываемый вариант системы должен быть технически осуществим и иметь минимальный набор оборудования в частности минимальную протяженность кабельных линий между КТП из экономических соображений, так же он должен иметь высокую схемную надежность.

Для рассматриваемого случая наиболее оптимальной является петлевая схема электроснабжения. Принципиальная схема прокладки кабельных линий представлена на рисунке 4.

На основании представленной схемы далее будем проводить расчет и выбор кабельных линий электропередачи для связи КТП рассматриваемого микрорайона.

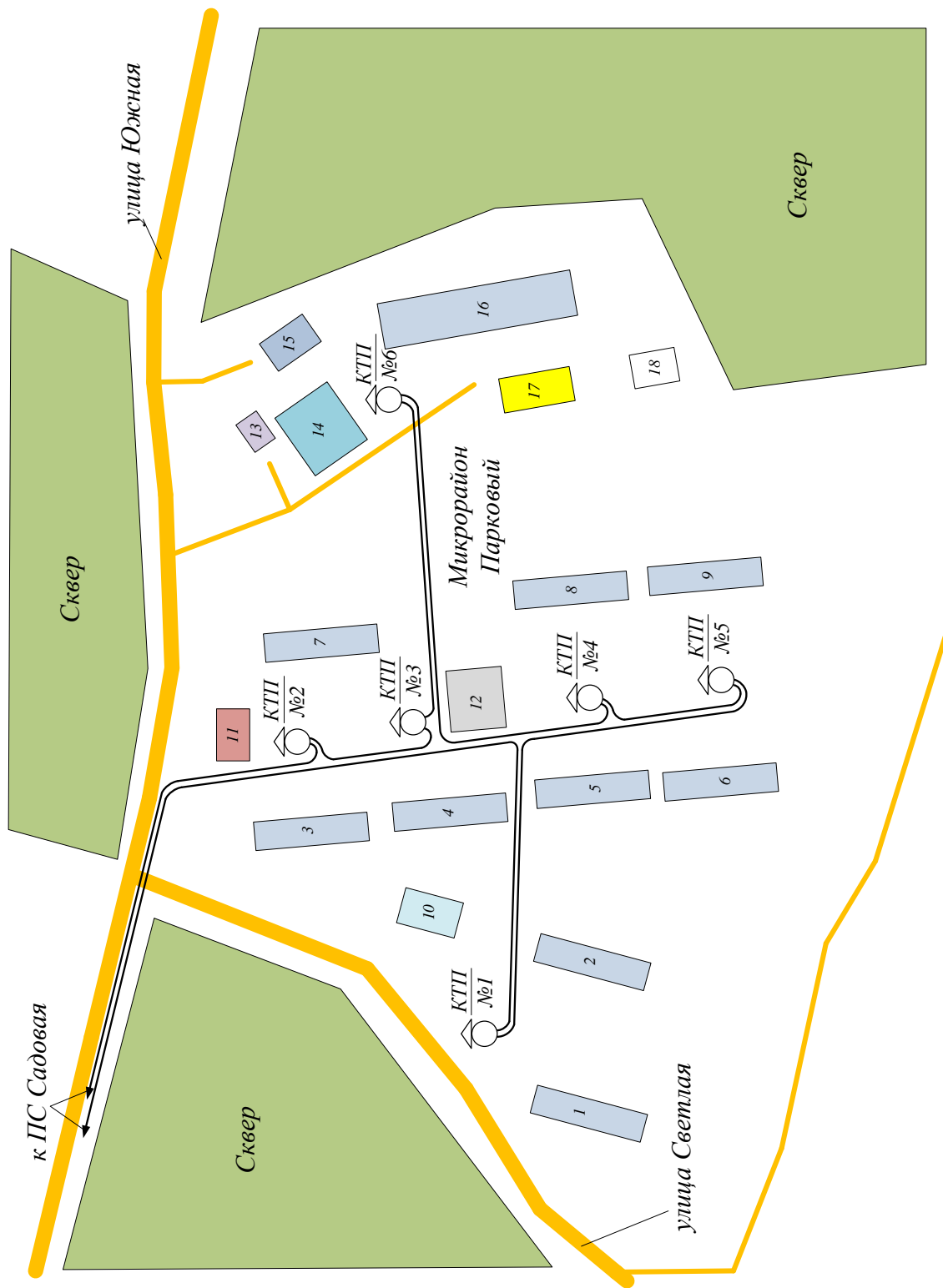


Рисунок 4 - Схема электроснабжения 6 кВ микрорайона Парковый

## 10 РАСЧЕТ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЕТИ 6 КВ

В данном разделе проводим расчёт токов во всех сечениях при этом используем различные режимы работы включая ремонтные режимы, при выполнении расчётов ремонтных режимов будет учитываться максимальный ток в каждом из сечений рассматриваемых участков кабельных линий.

В нормальном режиме работы электрической сети перетоки во всех сечениях имеют минимальное значение поэтому при выборе сечения электрокабеля необходимо использовать данные о ремонтных режимах в которых происходит увеличение нагрузки во практически во всех кабельных линиях из-за отключения одного из источников питания.

Величина мощности в сечении зависит от количества подключенных от нее потребителей [5]:

$$S_{rij} = k_C \cdot \sum S_{pвнi} \quad (36)$$

где  $S_{pвнi}$  - расчетная полная мощность нагрузки на стороне ВН КТП.

Проводим расчет первого режима работы: определяем потоки мощности на участках:

Поток мощности на участке ПС Садовая - КТП №2

$$S_{pсад.2} = k_C \cdot (S_{pвн1} + S_{pвн2} + S_{pвн3} + S_{pвн4} + S_{pвн5} + S_{pвн6}) \quad (37)$$

$$S_{pсад.2} = 0,75 \cdot (1467,91 + 1410,63 + 747,52 + 1434,36 + 1434,36 + 928,39) = 5567,38 \text{ (кВА)}$$

Поток мощности на участке КТП №2 - КТП №3

$$S_{p2.3} = k_C \cdot (S_{pвн1} + S_{pвн3} + S_{pвн4} + S_{pвн5} + S_{pвн6}) \quad (38)$$

$$S_{p2.3} = 0,8 \cdot (1467,91 + 747,52 + 1434,36 + 1434,36 + 928,39) = 4810,03 \text{ (кВА)}$$

Поток мощности на участке КТП №3- КТП №6

$$S_{p3.6} = k_C \cdot (S_{pвн1} + S_{pвн4} + S_{pвн5} + S_{pвн6}) \quad (39)$$

$$S_{p3.6} = 0,8 \cdot (1467,91 + 1434,36 + 1434,36 + 928,39) = 4212,02 \text{ (кВА)}$$

Поток мощности на участке КТП №6- КТП №4

$$S_{p6.4} = k_C \cdot (S_{pвн1} + S_{pвн4} + S_{pвн5}) \quad (40)$$

$$S_{p6.4} = 0,8 \cdot (1467,91 + 1434,36 + 1434,36) = 3469,3 \text{ (кВА)}$$

Поток мощности на участке КТП №4 - КТП №5

$$S_{p4.5} = k_C \cdot (S_{pвн1} + S_{pвн5}) \quad (41)$$

$$S_{p4.5} = 0,9 \cdot (1467,91 + 1434,36) = 2612,04 \text{ (кВА)}$$

Поток мощности на участке КТП №5 - КТП №1

$$S_{p5.1} = S_{pвн1} \quad (42)$$

$$S_{p5.1} = 1467,91 \text{ (кВА)}$$

Далее проводим расчет тока в сечении по следующей формуле:

$$I_{pij} = \frac{S_{pij}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (43)$$

где  $U_n$  - номинальное линейное напряжение ВЛ.

На примере участка ПС Садовая - КТП №2

$$I_{расд.2} = \frac{5567,38}{\sqrt{3} \cdot 6,0} = 535,72 \text{ (А)}$$

По аналогичным формулам проводим расчет потоков мощности и токов в сечения для второго режима работы, результаты расчетов сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет потоков мощности в сечениях и токовых нагрузок на КЛ

Режим №1 отключение КЛ ПС Садовая – КТП№1			Режим №1 отключение КЛ ПС Садовая – КТП№2		
Участок	$S_{pij}$ (кВА)	$I_{pij}$ (А)	Участок	$S_{pij}$ (кВА)	$I_{pij}$ (А)
ПС Садовая – КТП№2	5567,38	<b>535,72</b>	ПС садовая - КТП№2	-	-
КТП№2 - КТП№3	4810,03	<b>462,85</b>	КТП№2 - КТП№3	1410,63	135,74
КТП№3 - КТП№6	4212,02	<b>405,30</b>	КТП№3 - КТП№6	1942,3	186,90
КТП№6 - КТП№4	3469,3	<b>333,83</b>	КТП№6 - КТП№4	2469,24	237,60
КТП№4 - КТП№5	2612,04	251,34	КТП№4 - КТП№5	3616,73	<b>348,02</b>
КТП№5- КТП№1	1467,91	141,25	КТП№5- КТП№1	4764,22	<b>458,44</b>
КТП№1- ПС Садовая	-	-	КТП№1- ПС Садовая	5567,38	<b>535,72</b>



## 11 ВЫБОР ТИПА И СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

При выборе кабельной линии в частности её сечения необходимо знать максимальный рабочий ток который может протекать в данном сечении в наиболее худшем с точки зрения режима работы электрической сети варианте потоко-распределения поэтому принимаются к учету максимальные токи в сечениях в ремонтных режимах данной системы электроснабжения

Выбор проводим по [5]:

$$I_p \leq I_{\partial\partial} \quad (44)$$

где  $I_p$  – расчетный ток в сечении А;

$I_{\partial\partial}$  – длительно допустимый ток для данного типа проводника (КЛ),

$$I_{\partial\partial} = I_{\partial\partial n} \cdot k_{cp} \cdot k_{cn} \cdot k_{нов} \quad (45)$$

где  $I_{\partial\partial n}$  – допустимый длительный ток проводника, А;

$k_{cp}$  – коэффициент учитывающий температуру среды отличную от расчетной;

$k_{cn}$  – коэффициент снижения токовой нагрузки при групповой прокладке кабелей в траншее.

$k_{нов}$  – коэффициент повышения допустимого тока при недогрузке соседних кабелей.

Принимаем на данном участке кабель типа АПвПу 3×400.

Проводим расчет длительно допустимого тока:

$$I_{\partial\partial} = 541 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 541 \text{ (A)}$$

Сравниваем полученное значение с расчетным током:

$$535,72 \leq 541,0$$

Таблица 9 – Выбор типа и сечений проводников по длительно допустимому току

Участок	$S_{rij}$ (кВА) максимальная	$I_{rij}$ (А) максимальный	Марка и сечение проводника	$I_{до}$ (А)
ПС Садовая – КТП№2	5567,38	535,72	АПвПу 3×400	541,0
КТП№2 - КТП№3	4810,03	462,85	АПвПу 3×300	476,0
КТП№3 - КТП№6	4212,02	405,30	АПвПу 3×240	422,0
КТП№6 - КТП№4	3469,3	333,83	АПвПу 3×185	364,0
КТП№4 - КТП№5	3616,73	348,02	АПвПу 3×185	364,0
КТП№5- КТП№1	4764,22	458,44	АПвПу 3×300	476,0
КТП№1- ПС Садовая	5567,38	535,72	АПвПу 3×400	541,0

Все проводники прошли предварительную проверку, далее после расчета токов короткого замыкания выполняем проверку выбранных проводников по термической стойкости.

## 12 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Расчёт токов короткого замыкания необходим для последующего выбора и проверки электрооборудования которое будет устанавливаться на подстанции Садовая поэтому в данном разделе проводим данный расчёт соответственно используем метод относительных единиц а также средний ряд напряжений, что значительно упрощает расчёты и отсутствует необходимость в дополнительных расчётах при этом точность данного расчета является довольно высокой, данный метод расчёта токов короткого замыкания наиболее часто применяются при выполнении данных расчётов в системе электроснабжения.

### 12.1 Расчет токов короткого замыкания в питающей сети

Расчетные точки КЗ показаны на рисунке 5.

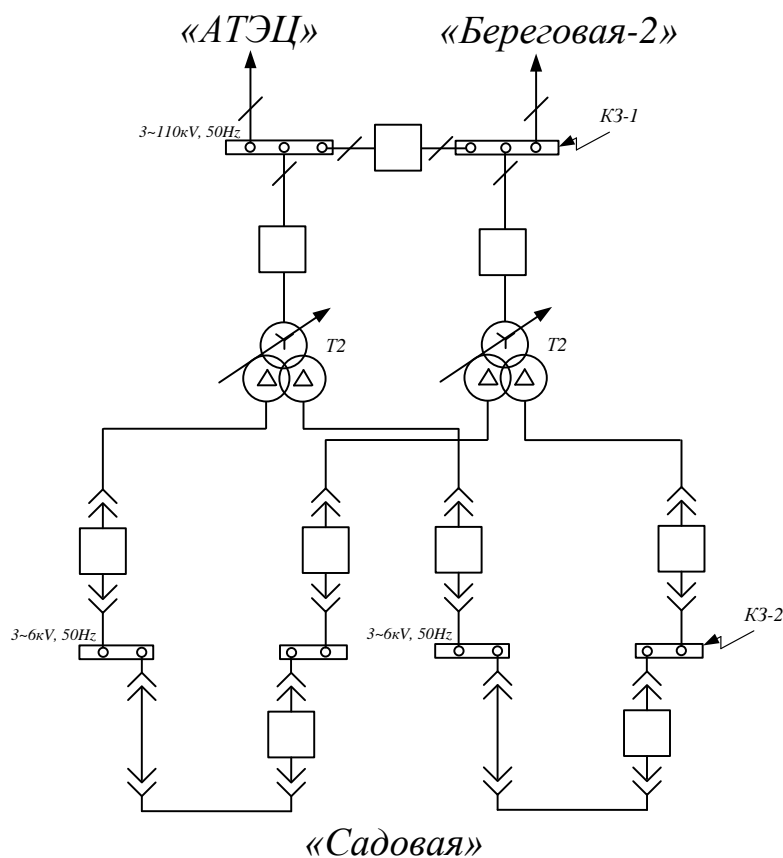


Рисунок 5 – Расчетные точки КЗ

На рисунке 6 представлена схема замещения участка сети для расчета токов КЗ.

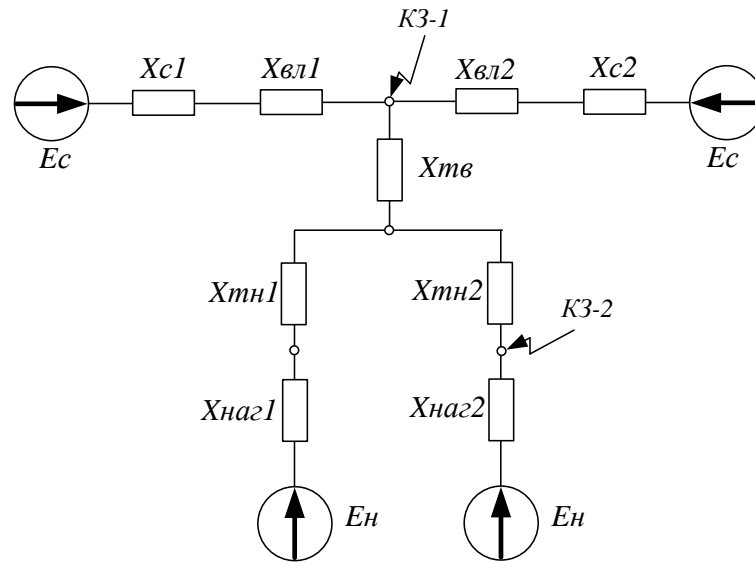


Рисунок 6 – Схема замещения участка сети с указанием расчетной точки КЗ

Базисный ток [7]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (46)$$

$$I_{6110} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ (кА)}$$

$$I_{66} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ (кА)}$$

$$X_{C1} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_{K3}} \quad (47)$$

где  $I_{K3}$  – ток КЗ.

$$X_{C1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 19,7} = 0,26 \text{ (о.е.)}$$

Со стороны ПС Береговая 2:

$$X_{C2} = \frac{S_{\delta}}{S_{C2}} \quad (48)$$

$$X_{C2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 17,5} = 0,29 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление ВЛ ПС Садовая - АТЭЦ:

$$X_{ВЛ} = x_{y\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} \quad (49)$$

где  $x_{y\delta}$  – удельное индуктивное сопротивление ВЛ (Ом/км)

$l$  – длина ВЛ (км)

$$X_{ВЛ1} = 0,4 \cdot 54,1 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,63 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление ВЛ ПС Садовая – Береговая -2:

$$X_{ВЛ2} = 0,4 \cdot 5,8 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,17 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление обобщенной нагрузки из учета номинальной нагрузки трансформаторов:

$$X_H = 1,2 \cdot \frac{S_{\delta}}{S_H} \quad (50)$$

где  $S_H$ , – мощность нагрузки (МВА)

$$X_{H1} = 1,2 \cdot \frac{1000}{40} = 30,0 \text{ (о.е.)}$$

$$X_{H2} = 1,2 \cdot \frac{1000}{40} = 30,0 \text{ (о.е.)}$$

$$X_{TB} = 0,01 \cdot (u_{KBH} - 0,25 \cdot u_{KH1-H2}) \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} \quad (51)$$

где  $u_{KBH}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора между обмотками ВН и НН (%)

$u_{KH1-H2}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора между обмотками низкого напряжения (%)

$S_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора

$$X_{TB} = 0,01 \cdot (10,5 - 0,25 \cdot 30) \cdot \frac{1000}{40} = 0,75 \quad (52)$$

$$X_{TH1} = 0,005 \cdot u_{K\%H1-H2} \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} \quad (53)$$

$$X_{TH1} = 0,005 \cdot 30 \cdot \frac{1000}{40} = 3,37 \text{ (о.е.)}$$

$$X_{TH2} = 0,005 \cdot 30 \cdot \frac{1000}{40} = 3,37 \text{ (о.е.)}$$

Проводим последовательное преобразование схемы замещения для определения расчетных значений результирующего сопротивления и ЭДС на примере точки короткого замыкания №1.

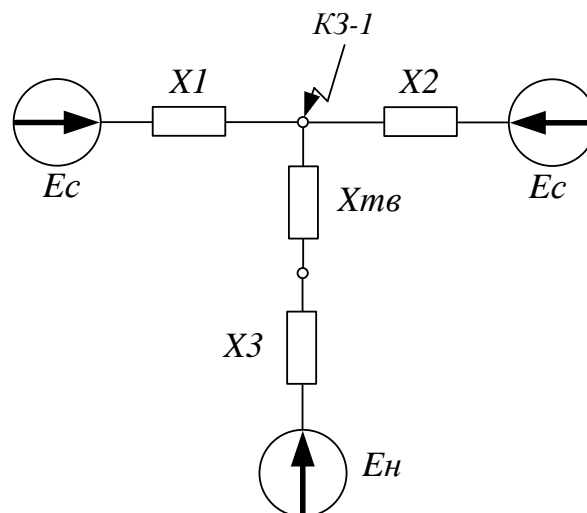


Рисунок 7 – Сворачивание схемы замещения

$$X1 = X_{C1} + X_{BJ1} \quad (54)$$

$$X1 = 0,26 + 1,63 = 1,89 \text{ (о.е.)}$$

$$X2 = X_{C2} + X_{BJ2} \quad (55)$$

$$X2 = 0,29 + 0,17 = 0,46 \text{ (о.е.)}$$

$$X3 = \frac{(X_{H1} + X_{TH1}) \cdot (X_{H2} + X_{TH2})}{(X_{H1} + X_{TH1}) + (X_{H2} + X_{TH2})} \quad (56)$$

$$X3 = \frac{(30 + 3,37) \cdot (30 + 3,37)}{(30 + 3,37) + (30 + 3,37)} = 16,68 \text{ (о.е.)}$$

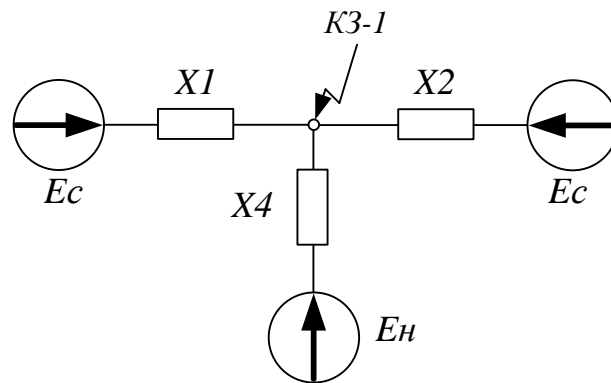


Рисунок 8 – Сворачивание схемы замещения

$$X4 = X3 + X_{TB} \quad (57)$$

$$X4 = 16,68 + 0,75 = 17,43 \text{ (о.е.)}$$

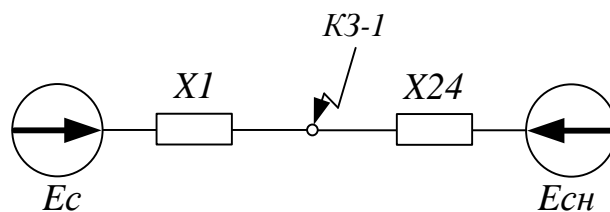


Рисунок 9 – Сворачивание схемы замещения

$$X_{24} = \frac{X_2 \cdot X_4}{X_2 + X_4} \quad (58)$$

$$X_{24} = \frac{0,46 \cdot 17,43}{0,46 + 17,43} = 0,44 \text{ (о.е.)}$$

$$E_{сн} = \frac{E_c \cdot X_4 + E_H \cdot X_2}{X_4 + X_2} \quad (59)$$

$$E_{сн} = \frac{1 \cdot 17,43 + 0,85 \cdot 0,46}{17,43 + 0,46} = 0,97 \text{ (о.е.)}$$

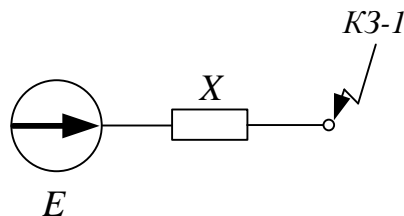


Рисунок 10 – Определение результирующего сопротивления и ЭДС

$$X = \frac{X_1 \cdot X_{24}}{X_1 + X_{24}} \quad (60)$$

$$X = \frac{1,89 \cdot 0,44}{1,89 + 0,44} = 0,43 \text{ (о.е.)}$$

$$E = \frac{E_c \cdot X_{24} + E_{сн} \cdot X_1}{X_{24} + X_1} \quad (61)$$

$$E = \frac{1 \cdot 0,44 + 0,97 \cdot 1,89}{0,44 + 1,89} = 0,96 \text{ (о.е.)}$$

Ток КЗ в точке КЗ №1:

$$I_{no} = \frac{E}{X} \cdot I_{\sigma 110} \quad (62)$$

$$I_{no} = \frac{0,96}{0,43} \cdot 5,02 = 11,21 \text{ (кА)}$$



Апериодический ток КЗ:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{-\frac{T_{OB}}{T_a}} \quad (63)$$

где  $T_{OB}$  – время отключения выключателя с учетом работы основной защиты (сек.)

$T_a$  – постоянная времени

Значение апериодической составляющей тока короткого замыкания на примере точки КЗ-1:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{-\frac{t_{OB}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 11,21 \cdot e^{-\frac{0,05}{0,03}} = 2,99 \text{ (кА)}$$

Постоянную времени можно определить по следующей формуле:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p} \quad (64)$$

где  $X_p$  – результирующее индуктивное сопротивление до точки короткого замыкания (о.е.)

$R_p$  – результирующее активное сопротивление до точки короткого замыкания (о.е.)

$\omega$  – угловая частота (314 рад/сек.)

Ударный ток:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot \left( 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) \quad (65)$$

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 11,21 \cdot \left( 1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} \right) = 27,21 \text{ (кА)}$$

Расчет теплового импульса проводится по следующей формуле:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_{pz} + t_{cs} + T_a) \quad (66)$$

где  $t_{pz}$  – максимальное время работы резервной защиты;

$t_{св}$  - время отключения выключателя;

Для точки КЗ-1:

$$B_{\kappa} = 11,21^2 \cdot (2 + 0,05 + 0,03) = 261,38 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

Аналогично проводится расчет токов короткого замыкания для точки 4  
результаты расчета сводятся в таблицу 10:

Таблица 10 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Расчетная точка короткого замыкания	$I_{no}$ (кА)	$I_{at}$ (кА)	$I_{y\delta}$ (кА)	$B_{\kappa}$ (кА <sup>2</sup> с)
1	11,21	2,99	27,21	261,38
2	21,45	5,73	52,07	957,01

## 13 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПС САДОВАЯ

Определяем максимальные рабочие токи РУ ПС Садовая [3]:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{тном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (67)$$

где  $S_{\text{тном}}$  – номинальная мощность трансформатора (МВА);

$U_{\text{н}}$  – номинальное напряжение (кВ);

Для стороны ВН:

$$I_{\text{м110}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 115} = 201,2 \text{ (А)}$$

Для стороны НН с учетом расщепленной обмотки:

$$I_{\text{м6}} = \frac{40 \cdot 0,5}{\sqrt{3} \cdot 6,0} = 1925,6 \text{ (А)}$$

### 13.1 Выбор и проверка выключателей 110 кВ

Выбор выключателей марки ВЭБ-110 П-20/2500У1 осуществляется по номинальному напряжению сети и номинальному току нагрузки [3]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}} \quad (68)$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.раб}} \quad (69)$$

Проверка термической стойкости:

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}} \quad (70)$$

где  $I_{\text{тер}}$  - ток термической стойкости;

$t_{\text{тер}}$  - время термической стойкости,

$B_{\text{к}}$  - интеграл Джоуля.

Проверка динамической стойкости:

$$I_{пр.скв} = I_{дин} \geq I_{уд} \quad (71)$$

где  $I_{пр.скв}$  - предельный сквозной ток выключателя;

$I_{дин}$  - ток электродинамической стойкости аппарата.

Таблица 11 – Выбор и проверка выключателей 110 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	2500	201,2	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{откл}$ (кА)	20	11,21	$I_{откл} \geq I_{по}$
$I_{пик}$ (кА)	102	27,21	$I_{пик} \geq I_{уд}$
$I_{вкл}$ (кА)	20	11,21	$I_{вкл} \geq I_{по}$
$I_{ном.а}$ (кА)	12,46	2,99	$I_{ном.а} \geq I_a$
$I_{пр.скв}$ (кА)	102	27,21	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА <sup>2</sup> с)	1200	261,38	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

### 13.2 Выбор и проверка выключателей 6 кВ

Первоначально принимаем выключатель вакуумный ВВЭ-М-10-2500-40У1.

Сравнение параметров в показано в таблице 12:

Таблица 12 – Выбор и проверка выключателей 6 кВ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
1	2	3	4
$U_{ном}$ (кВ)	10	6	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном}$ (А)	2500	1925,6	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{откл}$ (кА)	40	21,45	$I_{откл} \geq I_{по}$
$I_{пик}$ (кА)	81	52,07	$I_{пик} \geq I_{уд}$

1	2	3	4
$I_{вкл} (кА)$	40	21,45	$I_{вкл} \geq I_{но}$
$I_{ном.а} (кА)$	16,96	5,73	$I_{ном.а} \geq I_a$
$I_{пр.скв} (кА)$	81	52,07	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} (кА^2с)$	4800	957,01	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

### 13.3 Выбор и проверка разъединителей 110 кВ

Принимаем разъединители марки РНДЗ-2-110/1000 ХЛ1 Сравнение параметров показано в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор и проверка разъединителей 110 кВ

Номинальные параметры разъединителя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном} (кВ)$	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном} (А)$	1000	201,2	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{пр.скв} (кА)$	80	27,21	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} (кА^2с)$	2790	261,38	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Число заземляющих ножей и соответственно тип разъединителя определяется местом установки.

### 13.4 Выбор высокочастотного заградителя связи

Сравнение основных данных заградителя с расчетными показаны в таблице 14.

Таблица 14 – Выбор и проверка заградителя 110 кВ

Номинальные параметры заградителя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном} (кВ)$	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$I_{ном} (А)$	300	201,2	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
$I_{пр.скв} (кА)$	30,2	27,21	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$

Высокочастотный заградитель типа ВЗ - 300 УХЛ1 проходит по всем показателям его принимаем к установке на ПС Садовая.

### 13.5 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 110 кВ

Основные параметры выбранного ОПН показаны в таблице 15.

Таблица 15 – Технические данные ОПН 110 кВ

ОПН-110/10/77/400	
Номинальное напряжение $U_{ном}$ (кВ)	110
Наибольшее рабочее напряжение $U_{рп}$ (кВ)	77
Поглощаемая энергия (кДж)	400
Остаточное напряжение $U_{ост}$ (кВ)	180

Наибольшее рабочее линейное напряжения на шинах 110 ПС составляет 126 кВ.

Фазное напряжение:

$$U_{нрф} = \frac{U_{нрл}}{\sqrt{3}} \quad (72)$$

$$U_{нрф} = \frac{126}{\sqrt{3}} = 72,74 \text{ (кВ)}$$

Энергия поглощаемая ограничителем определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \left( \frac{U - U_{ост}}{Z_{в}} \right) \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \quad (73)$$

где  $U$  - неограниченное перенапряжение;

$U_{ост}$  - остаточное напряжение на ОПН;

$Z_{в}$  - волновое сопротивление линии (Ом);

$t$  - время распространения волны.

$$U = \frac{U_0}{1 + k \cdot L \cdot U_0} \quad (74)$$

где  $U_0$  - напряжение волны перенапряжений в месте удара молнии;

$k$  – коэффициент полярности;

$L$  - длина защитного подхода принимаем равной 3 (км).

$$U = \frac{260}{1 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 260} = 224,9 \text{ (кВ)}$$

Время распространения волны рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{L \cdot 10^6}{\beta \cdot c} \quad (75)$$

где  $\beta$  - коэффициент затухания волны в фазном проводе;

$c$  - скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (км/сек).

$$T = \frac{3 \cdot 10^6}{0,91 \cdot 300000} = 11 \text{ (мкс)}$$

$$\mathcal{E} = \left( \frac{224,9 - 180}{415} \right) \cdot 180 \cdot 2 \cdot 11 = 398 \text{ (кДж)}.$$

Сравнение расчетных данных с паспортными ОПН приведено в таблице 16

Таблица 16 – Выбор и проверка ОПН 110 кВ

Номинальные параметры		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	110	110	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$U_{нр}$ (кВ)	77	72,74	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$
Поглощаемая энергия (кДж)	400	398	$\mathcal{E}_{расч} \geq \mathcal{E}$

ОПН 110 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке.

### 13.6 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 6 кВ

Принимаем к установке ОПН-6 УХЛ1 Сравнение параметров приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор и проверка ОПН 6 кВ

Номинальные параметры		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{ном}$ (кВ)	5,77	5,77	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
$U_{нр}$ (кВ)	3,67	3,46	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$

ОПН 6 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке.

### 13.7 Выбор трансформаторов тока

$$Z_2 \approx r_2 = r_{пров} + r_{приб} + r_{\kappa} \quad (76)$$

Сопротивление контактов  $r_{\kappa} = 0,1$  Ом. Сопротивление приборов:

$$r_{пров} = \frac{\rho \cdot l}{F}, \quad (77)$$

где  $\rho = 0,0283$  (Ом·мм<sup>2</sup>)/м – удельное сопротивление алюминия;

$l$  - длина соединительных проводов, для РУ 110 кВ подстанции принимается 100 м, для РУ 6 кВ - 60 м;

$F$  - сечение соединительного провода,  $F = 4$  мм<sup>2</sup>.

Таким образом, сопротивление соединительных проводов (для 110 кВ):

$$r_{пров} = \frac{0,0283 \cdot 100}{4} = 0,71 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление соединительных проводов (для РУ 6 кВ):

$$r_{пров} = \frac{0,0283 \cdot 600}{4} = 0,43 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{пров} = \frac{S_{нр}}{I_2^2}, \quad (78)$$

где  $S_{нр}$  - мощность, потребляемая приборами;



$I_2$  - вторичный номинальный ток трансформатора тока.

Таблица 18 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 110 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, В·А
Амперметр	ЕМ-06	0,5
Ваттметр	СК3021-1	0,5
Варметр	СК3021-1	0,5
Счетчик АЭ	delta +	0,12
Счетчик РЭ		

Таблица 19 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 6 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, В·А
Ваттметр	СК3021-1	0,5
Варметр	СК3021-1	0,5
Амперметр	ЕМ-06	0,5
Счетчик АЭ	delta +	0,12
Счетчик РЭ		

Мощность наиболее загруженной фазы на напряжении 110  $S_{np} = 1,62$  ВА.

Тогда сопротивление приборов:

$$r_{приб} = \frac{1,62}{5^2} = 0,06 \text{ (Ом)}.$$

Мощность наиболее загруженной фазы на напряжение 6 кВ  $S_{np} = 1,62$  ВА.

Тогда сопротивление приборов:

$$r_{приб} = \frac{1,62}{5^2} = 0,06 \text{ (Ом)}.$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока (на стороне 110 кВ):

$$Z_{2,110} = r_{пров} + r_{приб} + r_k \tag{79}$$

$$Z_{2,110} = 0,06 + 0,71 + 0,1 = 0,87 \text{ (Ом)}$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока (на стороне 6 кВ):

$$Z_{2,6} = r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}} + r_{\text{к}} \quad (80)$$

$$Z_{2,6} = 0,06 + 0,43 + 0,1 = 0,59 \text{ (Ом)}$$

Сравнение параметров встроенных трансформаторов тока ВЭБ-110 приведено в таблице 20.

Таблица 20 – Проверка выбранного ТТ 110 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{\text{ном}}$ (кВ)	110	110	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$
$I_{\text{ном}}$ (А)	300	201,2	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.раб}}$
$I_{\text{пр.скв}}$ (кА)	126	27,21	$I_{\text{пр.скв}} \geq I_{\text{уд}}$
$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}}$ (кА <sup>2</sup> с)	13872	261,38	$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} \geq B_{\text{к}}$
Нагрузка в классе точности 0,5 Z2 ном (Ом)	20	0,87	$z_{2\text{ном}} \geq z_2$

Сравнение параметров выбранного трансформатора тока с расчетными данными приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Проверка выбранного ТТ 6 кВ

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
$U_{\text{ном}}$ (кВ)	6	6	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$
$I_{\text{ном}}$ (А)	2000	1925,6	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.раб}}$
$I_{\text{пр.скв}}$ (кА)	189	56,4	$I_{\text{пр.скв}} \geq I_{\text{уд}}$
$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}}$ (кА <sup>2</sup> с)	15037	957,01	$I_{\text{мер}}^2 \cdot t_{\text{мер}} \geq B_{\text{к}}$
Нагрузка в классе точности 0,5 Z2 ном (Ом)	1,2	0,59	$z_{2\text{ном}} \geq z_2$

Выбранные трансформаторы тока проходят по всем требованиям.

### 13.8 Выбор трансформаторов напряжения

$$S_{2\text{ном}} \geq S_2 \quad (81)$$

где  $S_{2\text{ном}}$  - номинальная мощность в выбранном классе точности;

$S_2$  - нагрузка измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения.

Расчет вторичной нагрузки трансформаторов напряжения ПС Садовая приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения (на стороне 110 кВ)

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность, В·А
Вольтметр	ЕМ-06	2	2
Вольтметр регистрирующий	ЕМ-06	2	10
Частотомер	ЧС-01 ТК	2	7
Варметр	СК3021-1	2	1,5
Ваттметр	СК3021-1	2	1,5
Счетчик АЭ	delta +	2	1
Счетчик РЭ			
Сумма			46

Принимаем на стороне 110 кВ трансформатор напряжения типа: НАМИ-110.

Таблица 23 – Проверка выбранного ТН 110 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Нагрузка в классе точности 0,5	400 ВА	46 ВА	$S_{2ном} \geq S_2$

Таблица 24 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения (на стороне 6 кВ)

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Потребляемая мощность, В·А
Вольтметр	ЕМ-06	2	2
Варметр	СК3021-1	2	1,5
Ваттметр	СК3021-1	2	1,5
Счетчик АЭ	delta +	15	4
Счетчик РЭ			
Сумма			68

Принимаем для РУ 6 кВ трансформатор напряжения типа: НАМИ – 6.

Таблица 25 – Проверка выбранного ТН 6 кВ

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Нагрузка в классе точности 0,5	75 ВА	68 ВА	$S_{2ном} \geq S_2$

Данный тип трансформатора оставляем.

### 13.9 Выбор трансформаторов собственных нужд

В качестве типа оперативного тока принимаем переменный трехфазный ток напряжением 0,4 кВ.

Расчётная нагрузка потребителей ПС Садовая приведены в таблице 26:

Таблица 26 – Расчетная нагрузка потребителей ПС Садовая

Вид потребителя	Расчетная мощность приемника (кВА)
Приводы выключателей	6,9
Обогрев приводов выключателей	1,5
Обогрев ЗРУ 6 кВ	12
Освещение коридора ЗРУ 6 кВ	0,4
Освещение ячеек 6 кВ	0,4
Освещение ОРУ	8
Расчетная полная мощность	29,2

Расчет нагрузки приведен в приложении Б.

По расчетной мощности электроприемников С.Н. определяем мощность трансформатора собственных нужд ПС Садовая:

$$S_p = \frac{S_{наг}}{n_T \cdot K_3^{ном}} = \frac{29,2}{2 \cdot 0,7} = 20,85 \text{ (кВА)}.$$

Принимаем к установке на ПС Садовая в качестве источников переменного оперативного тока два сухих трансформатора типа ТСЗ 25/6/0,4 номинальной мощностью 25 кВА. Трансформаторы имеют защищенное исполнение.

### 13.10 Выбор гибкой ошиновки

Выбор гибких шин проводится на ПС при напряжении 110 кВ и выше. Максимальный рабочий ток на стороне высокого напряжения подстанции Садовая составляет 201,2 А, следовательно принимаем сечение провода для данного РУ с учетом сечения ВЛ АС 120/19 с максимально допустимым током 390 А расположение фаз горизонтальное, междуфазное расстояние 300 см.

Проводим проверку по условиям возникновения короны, разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля (кВ/см).

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right) \quad (82)$$

где  $m$  - коэффициент учитывающий шероховатость поверхности провода;

$r_0$  - радиус провода 1,18 (см)

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,18}} \right) = 31,69 \text{ (кВ/см)}$$

Напряженность электрического поля около поверхности провода определяется по выражению (кВ/см):

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_0}} \quad (83)$$

где  $U$  – линейное напряжение на проводе (принимаем 115 кВ);

$D_{cp}$  - среднегеометрическое расстояние между фазами, при горизонтальном расположении фаз и расстоянии между фазами оно равно 378 см

$$E = \frac{0,354 \cdot 115}{1,18 \cdot \lg \frac{378}{1,18}} = 13,8 \text{ (кВ/см)}$$

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0$$

$$14,7 \leq 28,52$$

Неравенство выполняется, следовательно выбранное сечение удовлетворяет условию выбора.

### 13.11 Выбор жестких шин на напряжении 6 кВ

Проводим выбор жестких шин для распределительного устройства низкого напряжения ПС Садовая. Максимальный рабочий ток нагрузки в данном случае составляет 1925,6 А. Принимаем минимальное сечение алюминиевой шины с размерами 80 × 6 мм (4,8 см<sup>2</sup>). Шины устанавливаем на изоляторах плашмя, расстояние между фазами принимаем 0,4м.

Проверяем шины на тепловую стойкость, определяем минимальное сечение по условиям нагрева токами короткого замыкания:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (84)$$

где  $B_k$  – интеграл джоуля, рассчитан ранее при выборе выключателей.

$C$  - коэффициент для алюминия 91

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{957,01}}{91} = 3,4 \text{ (см}^2\text{)}$$

$$l \leq \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}} \quad (85)$$

где  $J$  – момент инерции шины (см<sup>3</sup>см).

$q$  - сечение проводника, в данном случае 4,8 (см<sup>2</sup>)

$$l \leq \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{25,6}{4,8}}} = 0,95 \quad (86)$$

Момент инерции определяется по формуле:

$$J = b \cdot h^3 \frac{1}{12} \quad (87)$$

$$J = 0,6 \cdot 8^3 \frac{1}{12} = 25,6 \text{ (см}^3\text{см)}$$

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{y\partial}^2}{a} \quad (88)$$

где  $i_{y\partial}$  – ударный ток короткого замыкания (А).  
 $a$  - расстояние между фазами 0,4 (м).

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{52070^2}{0,4} = 2578,01 \text{ (Н/м)}$$

Момент сопротивления:

$$W = b \cdot h^2 \frac{1}{6} \quad (89)$$

$$W = 0,6 \cdot 8^2 \frac{1}{6} = 6,4 \text{ (см}^3\text{)}$$

Определяем напряжение в проводе при протекании ударного тока КЗ:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{y\partial}^2 \cdot l^2}{W \cdot a} \quad (90)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{52070^2 \cdot 0,9^2}{6,4 \cdot 0,4} = 32,62 \text{ (МПа)}$$

При расчете напряжение все длины приведены в метры.

### 13.12 Выбор опорных изоляторов

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

1) по напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{ном\ сети}$$

2) по нагрузке:

$$F_{разр} \cdot 0,6 \geq F_{расч}$$

где  $F_{разр}$  – разрушающее усилие для выбранного типа изолятора (Н).

$F_{расч}$  - расчетное усилие в рассматриваемом РУ 6 кВ (Н).

Рассмотрим подробно расчет усилия воздействующего на опорные изоляторы в РУ 6 кВ ПС Садовая.

Расчетная сила, определяется как:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7} \quad (91)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{52070^2 \cdot 1,1}{0,4} \cdot 10^{-7} = 2835,81 \text{ (Н)}$$

Выбираем по номинальному напряжению проходной изолятор типа ОСК 8-10 УХЛ2 с номинальным усилием разрушения 8000 Н, проверяем следующее неравенство:

$$8000 \cdot 0,6 = 4800 \geq 2835,81$$

Неравенство выполняется, расчет окончен

После выбора всего необходимого оборудования следует сделать вывод о том что всё оно прошло все необходимые проверки в частности все выключатели прошли как по коммутационной так по термической и электродинамической стойкости, трансформатор собственных нужд обеспечивает полную мощность нагрузки всех потребителей. Опорные изоляторы распределительного устройства низкого напряжения также проверены по электродинамической стойкости и соответственно все они проходят в соответствующие проверки.



## 14 РАЧЕТ ТОКОВ КЗ В СЕТИ 6 КВ

В разделе будет проведён расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения. Данный расчет проводится в распределительной электрической сети напряжением 10 кВ с целью дальнейшего определения теплового импульса который представляет собой количество теплоты которая выделяется при протекании тока короткого замыкания за определённое время. Время определяется тока КЗ определяется из условий работы релейной защиты соответственно чем работает быстрее релейная защита тем меньше тепловая нагрузка накладываемая на электрическое оборудование, поэтому при дальнейших проверках кабельных линий данный параметр, тепловой импульс является очень важным поэтому в данном разделе проводим расчёт данного показателя.

Активные и индуктивные сопротивления КЛ [3]:

$$X_{кл} = x_0 \cdot L \quad (92)$$

$$R_{кл} = r_0 \cdot L \quad (93)$$

где  $x_0, r_0$  - удельное реактивное и активное сопротивление КЛ.

$$X_{кл} = 0,047 \cdot 1,8 = 0,085 \text{ (Ом)}$$

$$R_{кл} = 0,078 \cdot 1,8 = 0,14 \text{ (Ом)}$$

Определяем сопротивление энергосистемы со стороны шин 6 кВ подстанции Садовая:

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}} \quad (94)$$

где  $U_{cp}$  - напряжение среднего ряда, принимается равным 10,5 кВ.

$I_{кз}$  - ток трехфазного короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанции Садовая рассчитан далее.

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 21,45} = 0,17 \text{ (Ом)}$$

Результирующее активное сопротивление до точки КЗ на шинах ВН КТП

1

$$X_p = X_c + X_{кл} \quad (95)$$

$$X_p = 0,17 + 0,085 = 0,25 \text{ (Ом)}$$

$$R_p = R_{кл} = 0,14 \text{ (Ом)} \quad (96)$$

Ток КЗ :

$$I_{по} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (97)$$

$$I_{по} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,25^2 + 0,14^2}} = 12,69 \text{ (кА)}$$

Проводим расчет постоянной времени для точки КЗ:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p} \quad (98)$$

где  $\omega$  - синхронная частота напряжения сети 314 рад/с.

$$T_a = \frac{0,25}{314 \cdot 0,14} = 0,005$$

Выполняем расчет теплового импульса,

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (T_{об} + T_a) \quad (99)$$

где  $T_{об}$  - полное время отключение выключателя сек.

$$B_k = 12,69^2 \cdot (0,6 + 0,005) = 97,42 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

По аналогичным формулам проводится расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ на остальных ближайших КТП, результаты расчета сводим в таблицу 27.

Таблица 27 – Расчет токов КЗ и теплового импульса

Точка КЗ – Шины ВН	$I_{\text{кз}}$ (кА)	$B_{\text{к}}$ (кА <sup>2</sup> с)
КТП 1	12,69	97,42
КТП 2	13,14	103,60
КТП 3	12,89	99,69
КТП 4	9,56	54,84
КТП 5	10,21	62,55
КТП 6	9,99	59,88

Далее проводим проверку выбранных КЛ.

## 15 ПРОВЕРКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

В данном разделе проводим сравнение теплового импульса который допускается для определённых кабельных линий соответственно выбранных в предыдущем разделе с тем количеством теплоты, с тем тепловым импульсом который будет иметь место в данных электроустановках согласно данным короткого замыкания.

Проверка кабельной линии по тепловому импульсу сводится к сравнению допустимого значения теплового импульса с фактическим значением теплового импульса соответственно если тепловой импульс который фактически имеется в электроустановках превышает то значение которое допускается для кабельной линии, соответственно она не может быть использована так как при протекании тока короткого замыкания будет происходить повреждение данного проводника.

Согласно паспортным данным определяется по формуле [3]:

$$B_{\text{кмакс}} = I_{\text{пю}}^2 \cdot T_{\text{кз}}$$

где  $I_{\text{пю}}$  - предельный ток короткого замыкания.

$T_{\text{кз}}$  - время КЗ.

$$B_{\text{кмакс}} = 36,16^2 \cdot 1 = 1308,6 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

Проводим расчет для КТП 1

Проводник проходит проверку при условии:

$$B_{\text{кмакс}} \geq B_{\text{к}} \tag{100}$$

$$1308,6 \geq 97,42$$

В данном случае проводник проходит проверку.

Аналогично проводим расчет для остальных КЛ, результаты в таблице 28

Таблица 28 – Проверка КЛ по термической стойкости

Участок	$B_k$ (кА <sup>2</sup> с)	$B_{кmax}$ (кА <sup>2</sup> с)	Марка и сечение проводника
ПС Садовая – КТП№2	103,60	1308,6	АПвПу 3×400
КТП№2 - КТП№3	99,69	795,24	АПвПу 3×300
КТП№3 - КТП№6	59,88	515,29	АПвПу 3×240
КТП№6 - КТП№4	54,84	345,26	АПвПу 3×185
КТП№4 - КТП№5	54,84	345,26	АПвПу 3×185
КТП№5- КТП№1	62,55	795,24	АПвПу 3×300
КТП№1- ПС Садовая	96,62	1308,6	АПвПу 3×400

## 16 ПРОВЕРКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6 КВ ПО ДОПУСТИМОЙ ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ.

Проверка на потерю напряжения различных участков кабельной линии является обязательной при этом следует учитывать что она выполняется для нормального режима работы то есть при небольших перетоках мощности, данная потеря напряжения должна определяться в наиболее удалённой точке от источника питания и она не должна соответственно превышать 5% которые регламентируются нормативными документами, при этом следует отметить что в ходе расчёта должны использоваться такие данные как расчётный ток в сечении, протяжённость линии а также физические характеристики данного проводника то есть активное и реактивное сопротивление его на всём протяжении участка. Данная потеря напряжения должна определяться на всех участках если это имеет место быть от источника питания до наиболее удаленной точки, от источника питания соответственно на всех участках кабельных линий с учетом всех различных сопротивлений проводников.

Потеря напряжения в участке КЛ определяется по следующей формуле [1]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_n} \quad (101)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление Ом/км;

$x_0$  – удельное реактивное сопротивление Ом/км.

Расчет проводим на примере наиболее удаленной КТП 4, определяем потерю напряжения на участке подстанция Садовая - КТП 1:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 535,72 \cdot 1,8 \cdot (0,39 \cdot 0,078 + 0,17 \cdot 0,047) \cdot \frac{100}{6300} = 1,18(\%)$$

Определяем потерю напряжения на участке КТП 1 - КТП 5:

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} \cdot 458,44 \cdot 0,25 \cdot (0,39 \cdot 0,096 + 0,17 \cdot 0,047) \cdot \frac{100}{6300} = 0,13 (\%)$$

Определяем потерю напряжения на участке КТП 4 - КТП 5:

$$\Delta U_3 = \sqrt{3} \cdot 348,02 \cdot 0,1 \cdot (0,39 \cdot 0,17 + 0,17 \cdot 0,047) \cdot \frac{100}{6300} = 0,07 (\%)$$

Определяем суммарную потерю напряжения:

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 \tag{102}$$

$$\Delta U = 1,18 + 0,13 + 0,07 = 1,38 (\%)$$

Расчет показал что максимальная потеря напряжения не превышает 5 % следовательно проводник проходит данную проверку.

## 17 РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПС

Молниезащита подстанции является очень важной системой которая предотвращает выход из строя электрооборудования вследствие попадания в него электрического разряда в виде молнии, поэтому в данном разделе проводим данный расчёт и определяем зоны молниезащиты, следует отметить то что все проводники и все аппараты которые расположены на подстанции Садовая должны находиться в зоне данной защиты, в ходе расчёта соответственно приводятся данные по всем параметрам каждого молниеотвода по отдельности а также различных систем молниеотводов.

Результат представляется в графической форме на которой наглядно видно как оборудование защищено от попадания в него электрических разрядов молнии.

Системы выполняем из четырех молниеотводов расположенных по периметру ПС

Находим эффективную высоту молниеотвода [10]:

$$h_{эф} = 0,85 \cdot h \quad (103)$$

где  $h$  – высота молниеотвода (19 м)

$$h_{эф} = 0,85 \cdot 19 = 16,15 \text{ (м)}$$

Зона защиты на уровне земли

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h \quad (104)$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 19) \cdot 19 = 20,18 \text{ (м)}$$

Зона защиты на уровне линейного потрала:

$$r_x = 1,6 \cdot h \cdot \frac{(h - h_x)}{(h + h_x)} \quad (105)$$



где  $h_x$  – высота линейного потрала.

$$r_x = 1,6 \cdot 19 \cdot \frac{(19-11)}{(19+11)} = 9,19 \text{ (м)}$$

Наименьшая высота внутренней зоны молниеотводов 1-2:

$$h_c = h - L/7 \quad (106)$$

где  $L$  – расстояние между молниеотводами 2-4 в данном случае составляет 44 м.

$$h_c = 19 - 44/7 = 12,28 \text{ (м)}$$

Половина ширины внешней зоны:

$$r_{cx} = 1,6 \cdot \frac{h_c - h_x}{1 + \frac{h_x}{h_c}} \quad (107)$$

где  $h_x$  – высота защищаемого объекта (м).

$$r_{cx} = 1,6 \cdot \frac{12,28 - 11}{1 + 11/12,28} = 2,2 \text{ (м)}$$

Эффективная высота:

$$h_{\text{эф}} = 0,85 \cdot h \quad (108)$$

где  $h$  – высота молниеотвода (19 м)

$$h_{\text{эф}} = 0,85 \cdot 19 = 17,0 \text{ (м)}$$

Радиус на уровне земли

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 19) \cdot 19 = 20,18 \text{ (м)}$$

$$r_x = 1,6 \cdot 19 \cdot \frac{(19-11)}{(19+11)} = 9,19 \text{ (м)}$$

$$h_c = 19 - 21/7 = 16,0 \text{ (м)}$$

$$r_{cx} = 1,6 \cdot \frac{16,0-11}{1+11/16,0} = 5,73 \text{ (м)}$$

Расчет приведен в таблице 29.

Таблица 29 – Расчет молниезащиты ПС Садовая

Пара молниеотводов	L (м)	H (м)	hэф (м)	hc (м)	r0 (м)	rx (м)	rcx (м)
1 - 2	47,0	19	16,15	12,28	20,18	9,19	2,2
1 - 3	21,0	19	16,15	16,0	20,18	9,19	5,73
3 - 4	47,0	19	16,15	12,28	20,18	9,19	2,2
2 - 4	29,0	19	16,15	14,65	20,18	9,19	4,51

Схема представлена на рисунке 11



## 18 РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Система заземления подстанции как и система молниезащиты предназначена для защиты как людей обслуживающих данные электроустановки так и оборудования которое расположено на данной подстанции, при этом в случае попадания электрических разрядов в электрооборудование соответственно все перенапряжение должно уходить в землю посредством использования системы заземления подстанции. Система заземления представляет собой определенную конструкцию состоящую как из горизонтальных полос электродов так из-за вертикальных электродов при этом совокупности данная конструкция создаёт необходимое минимальное сопротивление которое регламентируется нормативными документами, соответственно все параметры проводников в том числе и горизонтальных и вертикальных выбираются для того чтобы данные сопротивления заземления соответствовали нормативным документам.

Сопротивление искусственного заземлителя для ПС Садовая не должно превышать 0,5 Ом.

Размеры ПС Садовая

$$A = 65 \text{ (м)}$$

$$B = 36 \text{ (м)}$$

Удельное сопротивление первого грунта ПС Садовая  $\rho_1 = 50 \text{ (Ом/м)}$

Определяем площадь контура заземления ПС Садовая:

$$S = (A+3) \cdot (B+3) \tag{109}$$

$$S = (65+3) \cdot (36+3) = 2652 \text{ (м}^2\text{)}$$

Определяем удельное сопротивление второго грунта заземления ПС Садовая:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \psi \quad (110)$$

где -  $\psi$  - коэффициент сезонности

$$\rho_2 = 50 \cdot 2,7 = 135 \text{ (Ом/м)}$$

Принимаем диаметр вертикальных электродов  $d = 0,01$  м:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (111)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}$$

Проверка сечения на термическую стойкость:

$$F_{mc} = \sqrt{\frac{I_M^2 \cdot T}{400 \cdot \beta}} \quad (112)$$

где -  $I_M$  - максимальный ток однофазного короткого замыкания (кА)

$T$  - максимальное время работы защиты (сек)

$\beta$  - коэффициент термической стойкости.

$$F_{mc} = \sqrt{\frac{8,73^2 \cdot 5}{400 \cdot 21}} = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}$$

Сечение проходит проверку на термическую стойкость

Проверка на коррозионную стойкость:

$$S_{cp} = a_k \cdot \ln(240)^3 + b_k \cdot \ln(240)^3 + c_k \cdot \ln(240)^3 + d_k \quad (113)$$

$$S_{cp} = 0,005 \cdot \ln(240)^3 + 0,0036 \cdot \ln(240)^3 - 0,05 \cdot \ln(240)^3 + d_k = 1$$

где -  $a_k, b_k, c_k, d_k$  - вспомогательные коэффициенты

$$F_{кор} = 3,14 \cdot S_{cp} \cdot (S_{cp} + d) = 3,14 \cdot 1 \cdot (1 + 0,01) \cdot 10^{-4} = 3,17 \cdot 10^{-4} \quad (114)$$

$$F_{кор} = 3,14 \cdot 1 \cdot (1 + 0,01) \cdot 10^{-4} = 3,17 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Сечение не проходит проверку.

$$d = 0,022 \text{ (м)}$$

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{115}$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,022^2}{4} = 3,79 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

$$l_{nn} = 5 \text{ (м)}$$

Общая длина полос в сетке

$$L_n = \frac{(A+3)}{l_{nn}}(B+3) + \frac{(B+3)}{l_{nn}}(A+3) \tag{116}$$

$$L_n = \frac{(65+3)}{5}(36+3) + \frac{(36+3)}{5}(65+3) = 1060,8 \text{ (м)}$$

Число ячеек

$$m = \frac{L_n}{2 \cdot \sqrt{S}} \tag{117}$$

$$m = \frac{1060,8}{2 \cdot \sqrt{2652}} = 10,9$$

Принимаем число ячеек:  $m = 11$

Длина стороны ячейки

$$L_{я} = \frac{\sqrt{S}}{m} \tag{118}$$

$$L_{я} = \frac{\sqrt{2652}}{11} = 4,68 \text{ (м)}$$

Длина горизонтальных полос в сетке заземления:

$$L = 2 \cdot \sqrt{S} (m+1) \quad (119)$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{2652} (11+1) = 1235,9 \text{ (м)}$$

Количество вертикальных электродов в сетке заземления:

$$n_g = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{10 \cdot \sqrt{2}} \quad (120)$$

$$n_g = \frac{4 \cdot \sqrt{2652}}{10 \cdot \sqrt{2}} = 14,56$$

Принимаем:  $n_g = 15$

$$l_g = 2,5 \text{ (м)}$$

Стационарное сопротивление:

$$R_c = \rho l \cdot \left( A \frac{1}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + l_g \cdot n_g} \right) \quad (121)$$

где -  $A$  - вспомогательный коэффициент.

$$R_c = 50 \cdot \left( 0,42 \frac{1}{\sqrt{2652}} + \frac{1}{1235,9 + 2,5 \cdot 15} \right) = 0,447 \text{ (Ом)}$$

Определяем вспомогательный коэффициент:

$$\alpha_{\text{и}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\beta + 320) \cdot (I_M + 45)}} \quad (122)$$

$$\alpha_{\text{и}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{2652}}{(21 + 320) \cdot (8,73 + 45)}} = 1,11$$

$$R_{\text{и}} = R_c \cdot \alpha_{\text{и}} \quad (123)$$

$$R_{\text{и}} = 0,447 \cdot 1,11 = 0,496 \text{ (Ом)}$$

Предельное значение составляет 0,5 Ом, следовательно расчет окончен.

В ходе расчёта определены все геометрические параметры электродов которые будут использоваться на подстанции Садовая соответственно при использовании данной конструкции будет иметь место минимальное сопротивление заземляющего устройства, при этом все проводники которые использованы для организации данного заземляющего устройства указана на схеме молниезащиты.



## 19 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

В данном разделе будем проводить расчёт таких характеристик как уставки срабатывания защиты различных устройств защиты которые будут располагаться на подстанции Садовая и соответственно защищать электрооборудования от различных ненормальных режимов работы. Следует отметить что основной защитой для силовых трансформаторов подстанции Садовая являются дифференциальная защита которая соответственно отключает электрооборудование при любом виде повреждения как между фазами так и при замыкании на землю.

Дополнительными защитными которые будут рассчитываться в данном разделе является максимальная токовая защита а также защита от перегрузки.

Следует отметить что так же будет также и газовая защита которая обязательном порядке должна использоваться на силовых трансформаторах данной мощности а также будет рассмотрен Вопрос расчета уставок защиты кабельных линий 6 кв которые будут подключаться непосредственно к данному источнику питания.

После расчета всех уставок соответственно будет проверен ток срабатывания реле каждой защиты и в некоторых случаях будет проверяться коэффициент чувствительности которые не должен быть ниже значения нормативных документов.

Проводим расчет основной защиты трех обмоточного трансформатора ТРДН 40000/110/6/ Садовая

### 19.1 Дифференциальная защита.

Выбираем коэффициенты трансформации [12]:

$$I_{1TT} \geq I_{TTH} \quad (124)$$

где  $I_{TTH}$  – номинальный ток I стороны трансформатора.

Находим вторичные токи ТТ в номинальном режиме, А:

$$I_{2III} = \frac{I_{THOM}}{K_{TA}} \quad (125)$$

При внешних КЗ дифференциальный ток срабатывания должен удовлетворять условию:

$$I_{dsp} \geq K_{OTC} \cdot I_{HBP} \quad (126)$$

$$I_{HBP} = K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР} \quad (127)$$

где  $K_{OTC}$  – коэффициент отстройки;

$K_{ПЕР}$  – коэффициент, учитывающий переходный процесс;

Требования к ТТ дифференциальной защиты трансформаторов можно сформулировать следующим образом:

$$K_{10} = \frac{I_{1НОМТТ} \cdot K_{10}}{I_{THOMi}} \geq \frac{I_{КЗВНМ}}{I_{THOMi}} \quad (128)$$

где  $I_{1НОМТТ}$  – номинальный ток первичной обмотки ТТ, А;

$K_{10}$  – наибольшая кратность первичного тока ТТ;

Далее вычисляют коэффициент торможения:

$$K_{T1} = \frac{K_{OTC} \cdot I_{HBP} \cdot I_{СКВ} - 0,7}{I_{СКВ} - I_{TP}} \quad (129)$$

$$I_{TACЧ} = 1,25 + \frac{0,7 - I_{d\min}}{K_{T1}} \quad (130)$$

Значения  $I_{d\min}^*$  и  $K_{T1}$  при начальном приближении (принимается тормозная характеристика №3) выбираются из технического паспорта.

$$I_{НБР} = K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР} = 2,5 \cdot 0,1 + 0,02 + 0,02 = 0,29$$

$$I_{dsp} \geq 1,1 \cdot 0,29 = 0,319$$

$$I_{dmin} = 1,25 \cdot K_{ОТС} \cdot (K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР}) = 0,261$$

Принимаем:

$$I_{dmin} = 0,3 \text{ о.е.}$$

Параметры тормозных характеристик приведены в таблице 30:

Таблица 30 – Тормозные характеристики.

№ характеристики	1	2	3	4	5
$K_{T1}$	0,15	0,2	0,3	0,4	0,49
$I_{T,расч}^*$	3,9	3,25	2,58	2,25	2,05

$$K_{T1} = \frac{1,1 \cdot 0,29 \cdot 3 - 0,7}{3 - 2,25} = 0,61 \quad (131)$$

Принимаем тормозную характеристику №4.

## 19.2 Защита от перегрузки.

Защита действует с выдержкой времени на сигнал, а на необслуживаемых подстанциях – на разгрузку или отключение трансформаторов.

Ток срабатывания защиты от перегрузки (с действием на сигнал) определяется следующим образом [13]:

$$I_{сз} = \frac{k_{ОТС}}{k_B} \cdot I_{ВНН} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 211,41 = 277,47 \text{ (А)} \quad (132)$$

где  $k_{ОТС}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05

$k_B$  – коэффициент возврата токового принимается равным 0,8;

Ток срабатывания защиты:

$$I_{CP} = \frac{277,47}{(250 / 5)} = 5,54 \text{ (A)} \quad (133)$$

Время срабатывания защиты принимаем равным 9 с.

### 19.3 Максимальная токовая защита.

Ток срабатывания защиты на стороне 110 кВ [13]:

$$I_{CЗ} = \frac{k_H \cdot k_{CAM}}{k_B} \cdot I_{ВНН} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 211,41 = 475,76 \text{ (A)} \quad (134)$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_{CAM}$  – коэффициент само запуска принимается равным 1,5;

$$k_q = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{CЗ}} = \frac{20,34 \cdot 10^3 \cdot (10,5 / 115)}{475,76} = 3,89 \quad (135)$$

Ток срабатывания защиты:

$$I_{CP} = \frac{475,76}{(250 / 5)} = 9,51 \text{ (A)}$$

### 19.4 Газовая защита.

Газовое реле типа «Бухгольца» предполагается устанавливать на силовые трансформаторы ПС Садовая.

### 19.5 Релейная защита линии 6 кВ

Проводим расчет уставки МТЗ, ток срабатывания защиты:

$$I_{CЗ} = \frac{k_n \cdot k_{сам}}{k_\theta} \cdot I_n \quad (136)$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_{сам}$  – коэффициент само запуска принимается равным 1,5;

$k_\theta$  – коэффициент возврата 1,5;

$I_n$  – максимальный рабочий ток рассчитанный при выборе КЛ;

$$I_{C3} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,8} \cdot 535,72 = 1205,56 \text{ (A)}$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{1205,56}{(600/5)} = 10,04 \text{ (A)}$$

Расчет коэффициента чувствительности

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{C3}} \quad (137)$$

где  $I_{\text{кз}}^{(2)}$  – ток двухфазного короткого замыкания в конце линии;

$$k_{\text{ч}} = \frac{12,69 \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10^3}{1205,56} = 9,11$$

Значение коэффициента выше требуемого 1,5 следовательно расчет окончен

Проводим расчет уставки *защиты от перегрузки*, ток срабатывания защиты:

$$I_{C3} = \frac{k_{\text{омс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{н}} \quad (138)$$

где  $k_{\text{омс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата токового реле (принимается равным 0,8);

$$I_{C3} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 535,72 = 703,13 \text{ (A)}$$

Ток срабатывания реле

$$I_{CP} = \frac{703,13}{(600/5)} = 5,86 \text{ (A)}$$

Время срабатывания защиты принимаем равным 9 с.

Проводим расчет уставки *токовой отсечки*, ток срабатывания защиты:

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{кз}^{(3)} \quad (139)$$

где  $I_{кз}^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ в конце линии;

$$I_{CЗ} = 1,2 \cdot 12,69 \cdot 10^3 = 15,24 \cdot 10^3 \text{ (A)}$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{15,24 \cdot 10^3}{(600/5)} = 127,0 \text{ (A)}$$

## 20 ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ 6/0,4 КВ

Для защиты силовых трансформаторов на трансформаторных подстанциях 6/0,4 кВ в данном разделе предусматривается рассмотреть такие защитные аппараты как предохранители. Предохранители являются очень простым и дешёвым средством для защиты силовых трансформаторов от нештатных режимов работы в частности к таким режимом работы можно отнести перегрузку также короткие замыкания как внутри силового трансформатора так и на стороне низкого напряжения. Предохранители выбираются в зависимости от номинальной мощности и номинального тока силового трансформатора на стороне высокого напряжения и устанавливаются во всех трёх фазах. Работы высоковольтного предохранителя заключается в том что при превышении значения тока протекающего через него над определённым значением происходит разрыв данной цепи предохранителя То есть предохранитель перегорает. С другими защитными аппаратами например с выключателями из релейной защиты и предохранителей является очень дешёвым средством для защиты силовых трансформаторов и трансформаторных подстанций и применяются практически повсеместно на данных объектах электроэнергетики.

## 21 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

При реконструкции какой-либо подстанции необходимо учитывать также экономические аспекты при реализации проекта в частности следует учитывать стоимость реализации проекта которая может оцениваться как большой так и маленькой величиной капиталовложений в частности для рассматриваемого объекта рассчитана стоимость комплектных распределительных устройств в частности каждой ячейки выключателя как на стороне высокого так и на стороне низкого напряжения, поэтому в данном разделе будем заниматься этими расчётами при этом будем также использовать и районный коэффициент для подстанционного оборудования а также специальный коэффициент перевода цен на другой год с 2000 на 2022, который зависит от определённых показателей данный параметр называется коэффициентом инфляции и указывает насколько изменилась стоимость на протяжении нескольких десятков лет.

Капиталовложения должны определять общую сумму для реализации проекта в частности сюда будет входить не только стоимость выключателя на также и постоянная часть в которую включаются различные расходы на подготовку рабочего места на благоустройство территории на различные коммуникации, водоотведение различные электрические цепи и так далее.

Поэтому в постоянной части затрат учитываются очень многие показатели которые далее будут рассчитываться как общие капиталовложения в реконструкцию подстанции.

Также экономическими аспектами являются и различные эксплуатационные, амортизационные отчисления реализация данного проекта в частности эксплуатационные издержки зависят от определенного значения процентов которые регламентируется то есть величина капиталовложений на подстанционное оборудование умножается на определенный коэффициент в результате получается амортизационные отчисления которые должны начисляться ежегодно для того чтобы в будущем могло быть приобретено



новое оборудование посредством использования данных затрат, амортизационные отчисления начисляются каждый год по истечении срока службы оборудования, оно приобретает на накопленные средства.

Эксплуатационные издержки это такие затраты которые начисляются ежегодно и они представляют собой затраты на различные нужды по эксплуатации оборудования например на ремонт электрооборудования например на замену каких-то запасных частей и либо ещё другого оборудования дополнительно, сюда можно отнести и заполнение элегазом выключателей так как со временем данный газ имеет свойство выходить из выключателя, также сюда следует отнести и техническое обслуживание выключателей.

Определяем стоимость РУВН, НН ПС Садовая:

$$K_{py} = (N_{яч110} \cdot K_{яч110} + N_{яч6} \cdot K_{яч6}) \cdot K_{инф} \cdot K_p \quad (140)$$

где  $K_{инф}$  - коэффициент пересчёта цен 2000 года на 2022 год

$K_p$  - районный коэффициент: для ПС –1,3:

$N_{яч110}$  - количество ячеек выключателей 110 кВ:

$K_{яч110}$  - стоимость одной ячейки выключателя 110 кВ в ценах 2000 года:

$N_{яч6}$  - количество ячеек выключателей 6 кВ

$K_{яч6}$  - стоимость одной ячейки выключателя 6 кВ в ценах 2000 года:

$$K_{py} = (3 \cdot 6,58 + 30 \cdot 0,15) \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 134,87 \text{ (млн. руб.)}$$

Определяем постоянную часть затрат по подстанции:

$$K_{пост} = K_{пост} \cdot K_{инф} \cdot K_p \quad (141)$$

где  $K_{пост}$  - постоянная часть затрат в ценах 2000 года:

$$K_{пост} = 19,74 \cdot 4,28 \cdot 1,3 = 109,83 \text{ (млн. руб.)}$$

Определяем суммарные капиталовложения в ПС Садовая:

$$K_{пс} = K_{пу} + K_{пост} = 134,87 + 109,83 = 244,7 \text{ (млн. руб.)}$$

Издержки на амортизацию определяются по формуле:

$$I_{AM} = K_{пс} \cdot \alpha_{ам} \quad (142)$$

– нормы отчислений на амортизацию в год, о.е;

капитальные вложения, млн. руб.

Нормы отчислений на амортизацию определяются:

$$\alpha_{ам} = \frac{1}{T_{сл}} \quad (143)$$

где  $T_{сл}$  - срок службы оборудования (для ПС 20 лет.)

$$I_{AM} = 244,7 \cdot \frac{1}{20} = 12,23 \text{ (млн. руб.)}$$

Определяем эксплуатационные издержки:

$$I_{экс} = \alpha_{экс.пс} \cdot K_{пс} \quad (144)$$

где  $\alpha_{экс.пс} = 5,9\%$  – норма отчислений на ежегодную эксплуатацию и ремонт подстанций для оборудования ПС номинальным напряжением до 150 кВ (кроме ГЭС):

$$I_{экс} = 244,7 \cdot 0,059 = 14,43 \text{ (млн. руб.)}$$

## 22 УРОВ

На подстанции Садовая применяется устройство резервирования при отказе выключателя которое предназначено для отключения смежных выключателей в случае отказа одного из выключателей.

Принцип работы данной автоматики заключается в том что если при возникновении короткого замыкания защита не может отключить выключатель так как он неисправен либо у него имеется механическая поломка соответственно для ограничения токов короткого замыкания происходит отключение всех выключателей которые являются смежными с данным.

Автоматика работает по принципу определения не отключения выключателя при подаче команды от защиты и если соответственно выключатель не отключился происходит отключение смежных выключателей.

Данная автоматика является необходимой так как вероятность отказа выключателя при отключении тока короткого замыкания довольно велика.

Использование данной автоматики приводит к тому что короткое замыкание не распространяется на значительную часть электроустановок и происходит его отключение минимальным набором оборудования.

## 23 АВР

На подстанции Садовая применяется автоматика ввода резерва которая используется на стороне низкого напряжения подстанции.

Автоматика применяется для того чтобы снизить время перебоа электроснабжения всех потребителей которые подключены к шинам низкого напряжения данного источника.

Суть работы данной автоматики заключается в том что при отключении вводного выключателя на какой-либо из секций происходит включение секционного выключателя.

Включение секционного выключателя происходит по нескольким причинам, например данной причиной является факт отключения рабочего ввода, но также в некоторых схемах автоматики может применяться проверка отсутствия напряжения на одной из шин секции. Данная автоматика применяется практически на всех подстанциях данного класса напряжения так как является обязательным устройством для бесперебойного электроснабжения всех потребителей.

Устройство данной автоматики основано на реле контроля напряжения а также используются специальные блок контакты выключателей как рабочего ввода так и секционного выключателя.

## 24 АЧР

Автоматическая частотная разгрузка применяется на большинстве подстанций данного класса при этом она предназначена для ограничения либо потребителей при снижении частоты электрического тока до определённых параметров.

Принцип работы данной автоматики заключается в том что при снижении частоты электрического тока в системе электроснабжения происходит нарушение режима работы асинхронных электродвигателей и генераторов на электростанциях при этом для снижения вероятности ухудшения работы необходимо отключать некоторое количество потребителей.

Отключение потребителей на подстанции на примере Садовой происходит по определённому алгоритму например при небольшом снижении частоты происходит отключение наименее ответственных потребителей также при дальнейшем снижении частоты если первый этап не привёл каким-либо результатам происходит отключение более ответственных потребителей, данная процедура происходит до того момента когда не будут отключены все потребители подстанции Садовая.

Автоматика благоприятно влияет на режим работы всего электрооборудования которое используется системы электроснабжения в частности на электростанциях.

Система коммерческого учета электроэнергии применяются практически на всех подстанциях и позволяют производить учёт электрической энергии которая отпускается непосредственно потребителям с шины низкого напряжения подстанции Садовая.

Учёт электрической энергии которая отпускается потребителям с шин низкого напряжения выполняется за счёт использования микропроцессорных устройств учёта электроэнергии в частности счётчиков которые соответственно были выбраны в предыдущих разделах, также для объединения всей информации используется автоматизированная система контроля и учёта электрической энергии.

Данная система в автоматическом режиме контролирует все расходы энергии на стороне низкого напряжения и соответственно определяет общую сумму электроэнергии которая поступает к потребителям из подстанции Садовая.

Система контролирует общий расход электроэнергии и мощности и соответственно на её основе могут выводиться различные отчёты о том сколько электрической энергии было поставлено потребителям непосредственно с подстанции Садовая.

Данная система благоприятно влияет на систему учёта электрической энергии и позволяет в значительной степени снизить время работы персонала при учёте электрической энергии отпускаемой в сеть

## 26 БЭМП

На подстанции Садовая широко применяется электронный блок микропроцессорной защиты который позволяет посредством введения различных параметров в том числе электрического тока и напряжения производить защиту всех присоединений которые подключены на данной подстанции.

В функции данного устройства входят различные защиты в том числе максимальная токовая защита, токовая отсечка, защита от замыкания на землю защита от обрыва фаз и так далее.

В данное устройство могут вводиться различные параметры срабатывания защиты которые рассчитываются в соответствии с расчётными значениями тока на присоединении при этом отстройка производится от максимального значения рабочего тока. Также вводятся параметры о номинальном линейном напряжении и соответственно задаются определённый уставки срабатывания защиты на основе которых присоединение будет отключаться при возникновении каких-либо чрезвычайных ситуаций. В функции системы данного блока также входит такая автоматика как: устройство резервирования при отказе выключателя, автоматическая частотная разгрузка.

## 27 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 27.1 Безопасность

При выполнении работ в электроустановках они могут выполняться как с выполнением организационных так и с выполнением технических мероприятий при этом организационные мероприятия включают в себя различные аспекты при подготовке к выполнению работы а также при её выполнении. В частности к организационным мероприятиям можно отнести такие аспекты выполнения работы как оформление специального наряда по которому работы будут выполняться также специального распоряжения которое выдается не только на производителя работ но так же и на членов бригады и остальным лицам участвующим в выполнении работы включая допускающего.

Выполнение организационных мероприятий при работах в электроустановках также должен проводится специальный целевой инструктаж который включает в себя различные аспекты безопасного выполнения работ и данный инструктаж должен проводиться всем работникам которые задействованы при работе в электроустановках.

К таким мероприятиям также относится и выдача разрешения при подготовке рабочего места при работах в электроустановках также к ним относится и допуск персонала в частности ремонтных работников к проведению работ в электроустановках и сюда Также можно отнести надзор во время работы за определёнными категориями лиц в частности членами бригады при выполнении работ в электроустановках

К мероприятиям также относится и оформление перерывов при выполнении работ в электроустановках и либо перевод на другое рабочее место также окончания работы После выполнения всех мероприятий также относятся к организационным мероприятиям предназначенным для безопасного выполнения работ в электроустановках.



Обязательной особенностью работы в электроустановках является наличие у работника который будет выдавать наряд либо отдавать распоряжение либо утверждает Перечень работ в порядке текущей эксплуатации который является за достаточности правильность мер указанных в наряде либо распоряжение.

Следует отметить что таким лицом может быть назначен работники из административно-технического персонала который должен обладать группа и 5 по электробезопасности при выполнении работ в электроустановках выше 1000в либо группу 4 при выполнении работ в электроустановках до 1000 Вольт.

В электроустановках могут возникать различные ситуации при этом право выдачи нарядов может быть выдано не только вышеуказанному работнику но и тем лицам которые непосредственно находятся на оперативном дежурстве в частности это оперативные работники которые имеют группу по электробезопасности 4 и находится в этот момент времени непосредственно на дежурстве и обслуживают определённые электроустановку.

Такое право выдачи нарядов работниками оперативно технического персонала должно быть оформлено специальным распоряжением либо указанием директора организации.

Рассмотрим различные дополнительные обязанности которые могут накладываться на различных работников при работе в электроустановках в частности такой лицо как выдающий наряд работник либо отдающий распоряжение может выполнять обязанности ответственного руководителя работ также он может быть производителем либо допускающим при этом обязательным условием должно быть наличие электроустановок не имеющих местного оперативного персонала.

Имеющий право выдавать разрешение при подготовке рабочего места на допуск к работе также может выполнять обязанности отдающий в распоряжении либо выдающего наряд-допуск при этом он также может быть ответственным руководителем работ либо допускающим также в

электроустановках которые не имеют постоянного местного оперативного персонала.

Работник являющийся ответственным руководителем работ может совмещать следующие обязанности сюда можно включить производство производителя работ а также допускающего обязательным условием при этом также должно быть наличие электроустановок в которых нет постоянного местного оперативного персонала.

Производитель работ является по совмещению и оперативным персоналом либо оперативно-ремонтным персоналом может выполнять функции допускающего в электроустановках при этом обязательным условием должно быть наличие электроустановок имеющих простую наглядную схему. Производителем работ может являться работник который имеет группу по электробезопасности номер четыре он может выполнять функции допускающий в определённых случаях предусмотренными правилами охраны труда при эксплуатации электроустановок.

Рассмотрим основные лица которые участвуют в производстве переключений и выполнении ремонтных работ в электроустановках Сюда можно отнести работника выдающего распоряжение на подготовку рабочего места также работника отдающий распоряжение на выполнение работы а также работника выдающего наряд-допуск на выполнение работ в действующих электроустановках, также к этим лицам можно отнести ответственного руководителя работ которые назначаются в основном электроустановках выше 1000В также сюда относится и допускающий в электроустановках до 1000в и выше 1000В он дополнительно следует отметить производителя работ который является ответственным за выполнение каких-либо работ в электроустановках также сюда относятся наблюдающий и члены бригады.

Рассмотрим подробно за что отвечают лица участвующие в работах вылетающих электроустановках. Ответственный руководитель работ который отвечает за выполнение всех указанных в наряде либо распоряжении мероприятий а также их достаточность а также он за отвечает за

дополнительные необходимые меры безопасности которые предназначены для обеспечения защиты работников от различных производственных факторов в

Рассмотрим всех работников которые могут назначаться ответственными руководителями работ тренировок в электроустановках выше 1000 Вольт такими работниками могут быть лица из административно-технического персонала которые должны иметь группу не ниже 5 по электробезопасности при этом в электроустановках до 1000 Вольт они могут иметь группу 4 по электробезопасности.

Существуют ситуации в которых ответственный руководитель работ должен непосредственно находиться на рабочем месте во время выполнения каких-либо мероприятий данные отдельные указания в наряде который отмечается специальным образом Согласно правила охраны труда при работе в действующих электроустановках.

Рассмотрим подробно обязанности выдающего наряд. Лицо из административно-технического либо оперативного персонала которые имеют право выдавать наряд могут не назначать ответственного руководителя работ при работе в устройствах напряжением выше 1.000 Вольт при условии что она имеет одну секционированная или не секционированная система шин условием является отсутствие обходной системой шин каких-либо сложных электроустановок.

Выдающий наряд отдающий распоряжение работник отвечает за то что он принимает достаточное количество мер безопасности для безопасного выполнения работ в электроустановках то что эти меры соответствуют подготовке рабочего места которая будет выполнена в процессе выполнения мероприятий допускающим из состава оперативного персонала. Также выдающий наряд отвечает за целевого инструктажа как ответственного руководителя работ такие производителя работ и наблюдающего в том случае если он должен назначаться по условия безопасного выполнения работ в электроустановках.

Рассмотрим подробно требования к работникам которые выдают разрешение на подготовку рабочего места и допуск бригады к работе. Данные работники отвечает за выдачу специальных команд по выполнению оперативных переключений в электроустановках в частности по отключению и заземлению линий электропередачи либо другого электротехнического оборудования которое находится в его управлении также он отвечает за получение подтверждение о том что данные операции выполнены также как и его ответственности относятся самостоятельные действия которые он может выполнять подключение заземления линии электропередач либо другого электротехнического оборудования также находится в его технологическом направлении.

Работник выдающий разрешение на подготовку рабочего места может быть из состава оперативного персонала и должен иметь группу по электробезопасности не ниже 4 а также он должен быть назначен на это должность в соответствии с организационно распорядительным документом организации который выдаёт руководитель организации например главный инженер.

Обязанности допускающего является оценка принятых им мер безопасности при подготовке рабочего места а также соответствие данных мер тем мерам которые будут указаны в наряде-допуске либо в распоряжение при допуске бригады в действующей электроустановки также допускающий должен проводить целевой инструктаж всем членам бригады который будет выполнять работает также допускает и производитель работы наблюдающего Если он назначается по условиям выполнения работ также к его полномочиям относятся выполнение правильного и достаточного количества переключений которые бы обеспечили безопасность при подготовке рабочего места все выполняемые и мероприятия по безопасному выполнению работ в электроустановках должны соответствовать требованиям наряда-допуска и распоряжения. Допускающий отвечает за правильный допуск всех членов бригады к работе а также за

проводимой им целевой инструктаж и его качеством отношение безопасного выполнения работ в электроустановках.

Допускающие работники могут быть люди из числа оперативного персонала либо из-за оперативно-ремонтного персонала при этом исключения могут быть работы на воздушных линиях электропередачи на кабельных линиях электропередачи либо кабельного воздушных комбинированных линиях электропередач правила охраны труда при работе в действующих электроустановках основным требованием к допускающим является то что при напряжении электроустановки выше 1000 Вольт должен иметь группу 4 по электробезопасности и ниже а в том случае если работы выполняются в электроустановках выше 1000 Вольт ниже 1000 Вольт электробезопасности допускающий должна быть не ниже третьей.

Рассмотрим производителя работ и то за что он отвечает при выполнении работ в действующих вторую сторону электроустановках.

Производитель работ и несёт ответственность за качество чёткость и полноту выполняемого им целевого инструктажа всех членов бригады которые будут выполнять работы в действующих электроустановках. Производитель работ является также лицом ответственным за наличие всех необходимых приспособлений и средств защиты а также за их исправность и правильное использование за качество применяемого инструмента а также инвентаря и различные приспособления которые необходимы по условиям выполнения технологии ремонтных работ в действующих электроустановках до 1000 В так и выше 1000 В.

Производитель работ несёт ответственность за сохранение на рабочем месте всех необходимых по условиям безопасного выполнения работ ограждений также плакатов безопасности которые должны предотвратить поражение работников действием электрического тока в различных ситуациях данные ограждение плакаты используется для безопасного выполнения работ в действующих электроустановках и предназначены для сохранения жизни и работников от вредных производственных факторов.

В некоторых случаях при выполнении работ в действующих электроустановках необходима установка заземления и различных запирающих устройств поэтому производитель работ несёт ответственность за сохранение заземляющих устройств и установка их в тех местах где они необходимы также за сохранения запирающих устройств предотвращающих включения коммутационных аппаратов либо ошибочно либо самопроизвольное либо оперативным персоналом либо какой-либо другой ситуации.

## **27.2 Экологичность**

Неотъемлемой частью работы электрического оборудования в различных системах электроснабжения являются его воздействие на экологию окружающей среды при этом на примера можно рассмотреть подстанцию Садовая в Приморском крае которая является также объектом электроэнергетики на котором установлено маслonaполненное оборудование при этом следует учитывать что в различных ситуациях данное маслonaполненное оборудование может быть повреждено с разливом маслом загрязнение окружающей среды и соответственно приведёт к ущербу экологии поэтому данный раздел посвящён тем методом борьбы с данными ситуациями например безопасного эксплуатации данного оборудования возможно использование специальных ёмкостей под силовыми трансформаторами которые обеспечивают масло в случае если бак трансформатора будет повреждён данные устройства называется маслоприемниками они могут быть как с отводом масла так и без него поэтому данные устройства являются обязательными для определённого рода силовых трансформаторов в частности наполненных маслом, следует отметить что объем маслоприемника напрямую зависит от объёма масла в силовом трансформаторе а также его размеров так как при тушении масла и тушение трансформатора значительное количество воды будет использоваться для ликвидации данного возгорания поэтому всего вода которая будет поступать на трансформатор в следствии тушения она должна соответственно попадать в приёмник масла, он рассчитывается с учётом на поступление как только воды так и самого масла.

Он представляет собой емкость которая может быть выполнена из бетона со специальной отмосткой, габариты данного устройства должны зависеть от габаритов силового трансформатора, отступать на определенное расстояние от краев данного трансформатора при этом для того чтобы горячее масло не растекалось сверху маслоприемника устанавливается специальная защитная сетка которая пропускает масло но при этом он представляет защиту от возгорания то есть прошедшая сквозь сетку масло дальше перестаёт гореть горит только то масло которое осталось на самой сетки в небольших количествах дальше масло горящее уже перестаёт быть таким горячим и гореть и поэтому оно дальше поступает в основной бак маслоприемника.

#### *Расчет маслоприемника трансформатора*

На подстанции Садовая при реализации проекта устанавливаются 2 трансформатора марки ТРДН 40000/110/6/6 с размерами (м) 6×4,7×5,7 и массой масла 17,6 т.

1) Габариты маслоприемника выступают за габариты трансформатора на 1,5 м (при массе масла от 10 до 50 тонн) [11].

2) Маслоприемники должны предусматриваться закрытого типа вмещающие полный объем масла, а также 80 % общего (с учетом 30-минутного запаса) расхода воды от средств пожаротушения [11].

Маслоприемники выполняем с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м [11].

3) Маслоприемник оборудуется сигнализацией о наличии воды с выводом сигнала на щит управления. Внутренние поверхности маслоприемника, защищены маслостойким покрытием

Определяем объем масла в трансформаторе по формуле [21]:

$$V_{тр.м} = \frac{M}{\rho}, \quad (145)$$

где  $M$  – масса масла в трансформаторе согласно паспортным данным 17,6 ТОННЫ.

$\rho$  – плотность масла 0,88 (т/м<sup>3</sup>) [3].

Проводим расчет для рассматриваемого трансформатора:

$$V_{\text{трм}} = \frac{17,6}{0,88} = 20,0 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Определяем площадь маслоприемника по формуле [21]:

$$S_{\text{мн}} = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (B + 2 \cdot \Delta), \quad (146)$$

где  $A$ ,  $B$  – длина и ширина трансформатора (м)

$\Delta$  – расстояние между боковой стенкой трансформатора и стенкой маслоприемника.

Проводим расчет:

$$S_{\text{мн}} = (6,0 + 2 \cdot 1,5) \cdot (4,7 + 2 \cdot 1,5) = 69,3 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Площадь боковой поверхности трансформатора [21]:

$$S_{\text{он}} = (A + B) \cdot 2 \cdot H; \quad (147)$$

где  $H$  – высота трансформатора (м).

Проводим расчет:

$$S_{\text{он}} = (6,0 + 4,7) \cdot 2 \cdot 5,7 = 121,98 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Нормативный коэффициент пожаротушения  $K_n$  и нормативное время тушения  $t$  соответственно равны:

$$K_n = 0,2 \text{ (л/(с} \times \text{м}^2\text{))};$$

$$t = 1800 \text{ (сек)}.$$

Определяем объем воды необходимый для тушения пожара [21]:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = K_n \cdot t \cdot (S_{\text{мн}} + S_{\text{он}}) \cdot 10^{-3}; \quad (148)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,2 \cdot 1800 \cdot (69,3 + 121,98) \cdot 10^{-3} = 68,86 \text{ (м}^3\text{)}.$$



Определяем объем маслоприемника необходимый для приема 100 % масла и 80 % воды [21]:

$$V_{\text{ммH}_2\text{O}} = V_{\text{трм}} + 0,8 \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}; \quad (149)$$

$$V_{\text{ммH}_2\text{O}} = 20,0 + 0,8 \cdot 68,86 = 75,09 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Определяем глубину маслоприемника для приема всей жидкости  $V_{\text{ммH}_2\text{O}}$ :

$$H_{\text{мп}} = \frac{V_{\text{ммH}_2\text{O}}}{S_{\text{мп}}}; \quad (150)$$

$$H_{\text{мп}} = \frac{75,09}{69,3} = 1,08 \text{ (м)}.$$

Высота гравийной подушки согласно [11]:

$$H_z = 0,25 \text{ (м)}.$$

Высота воздушной прослойки согласно [11]:

$$H_{\text{ен}} = 0,05 \text{ (м)}.$$

Полная высота маслоприемника [11]:

$$H_{\text{нмп}} = H_{\text{мп}} + H_{\text{ен}} + H_z; \quad (151)$$

$$H_{\text{нмп}} = 1,08 + 0,05 + 0,25 = 1,38 \text{ (м)}.$$

Эскиз маслоприемника представлен на рисунке 12.

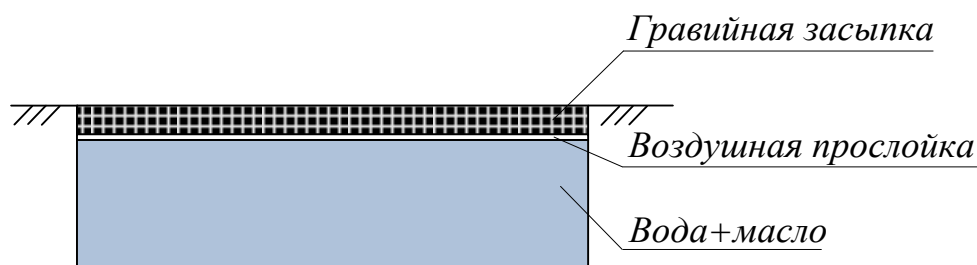


Рисунок 12 – Маслоприемник трансформатора

### 27.3 Чрезвычайные ситуации

Рассмотрим подробно различные чрезвычайные ситуации которые могут возникать в электроустановках при их эксплуатации а также при выполнении различного рода оперативных переключений либо воздействия различных климатических факторов в частности грозы шторма урагана усиление ветра повышении или понижении температуры наружного воздуха. Основная особенность чрезвычайной ситуации это возникновения такой ситуации при которой необходимо принятие определенных мер для снижения ущерба на электрооборудования а также для снижения ущерба от недостаточной выработки реактивной и активной мощности в сторону потребителей.

Рассмотрим основные факторы которые приводят возникновению различных чрезвычайных ситуаций в электроустановках в первую очередь сюда необходимо отнести и климатические условия в частности к чрезвычайной ситуации может привести возникновение попадания молнии в электрооборудование его повреждение которое может привести к появлению возгорания на электроустановке что в свою очередь ведёт к отключению электрооборудования а также значительному его повреждению.

Также к возникновению чрезвычайной ситуации могут приводить оперативные переключения при выполнении подготовки рабочего места и допуск бригады к работе в частности при отключении разъединителями токов нагрузки происходит короткое замыкание приводящее к разрушению данного оборудования и возможно ему ущерба здоровью работников которые непосредственно выполняют данные приключения.

Также короткие замыкания могут возникать в случае ошибочных включений заземляющих ножей на токоведущие части которые в настоящее время находится под напряжением такая мера является ошибочной и поэтому также приводят к возникновению короткого замыкания и значительного ущерба электрооборудованию релейная защита и автоматика на объекте электроэнергетики отработывает довольно быстро при этом повреждении

оборудования практически не происходит и оперативный персонал не подвергается воздействию короткого замыкания но могут быть ситуации когда релейная защита не отработала и поэтому происходит возникновение чрезвычайной ситуации после которой необходимо принятие специальной превентивных мер.

К чрезвычайным ситуациям можно отнести различные погодные условия в частности это повышение температуры выше чем допускает электрооборудование либо наоборот снижение температуры ниже чем допускает электрооборудования при этом также режим работы электрооборудования нарушается и может произойти и вывод и выход его из строя вследствие возникновения короткого замыкания либо отказать в отключении либо нарушения системы охлаждения его что также ведет к его либо отключение либо повреждению и как следствие возникновения чрезвычайной ситуации.

Поэтому во всех данных указанных ситуациях оперативный персонал который находятся непосредственно на дежурстве должен быть готов к ликвидации возникновению чрезвычайной ситуации в частности он должен действовать по специальной инструкции разработанной для объектов электроэнергетики которые прописывают все действия оперативного персонала при возникновении таких ситуаций любое отклонение от пунктов в данной инструкции ведёт к усилению повреждение оборудования либо отклонения режима работы оборудования от номинальных параметров поэтому оперативный персонал в обязательном порядке должен действовать согласно данной инструкции и в различное время должен проходить подготовку для слова действия в данной ситуации.

Также следует отметить что оперативный персонал обслуживающий электрооборудование находящееся на станциях либо на электростанции должен соблюдать все требования охраны труда при эксплуатации электроустановок утвержденные Министерством энергетики Российской Федерации при этом в случае возникновения аварийной ситуации на силовом

трансформаторе необходимо понимать о том что сливается с трансформатором масло запрещено это регламентируется инструкция по охране труда даже если она загорелась но баки слив масла запрещённые иначе будет происходить увеличение зоны возгорания а также разлив маслом по территории объекта электросетевого хозяйства и увеличение площади возгорания поэтому в случае возгорания на трансформаторе необходимо вызвать пожарную бригаду и приступить тушению пожара в случае если имеются какие-либо первичные средства пожаротушения следует сообщить руководству объекта электроэнергетики например начальнику смены станции либо дежурному диспетчеру которую свою очередь также принято определённые меры по ликвидации либо по локализации данного происшествия.

Диспетчер электрических сетей при поступлении данного сигнала возгорание на каком-либо оборудовании должен принять меры по отключению электрооборудования если оперативного персонала не принял этих мер самостоятельно также он принимает меры по сохранению нагрузки тех потребителей которые представляют собой высокую категории и отключения их недопустимо по условиям технологии электроснабжения.

Для пожарных подразделений при тушение возгораний на силовом трансформаторе им должен быть выдан специальной допуск в котором указаны все меры которые были выполнены до приезда данные пожарной бригады и в данном наряде соответственно должно быть указано что электрооборудование отключены обесточено также установлены специальные заземляющего устройства либо заземляющие ножи либо переносные заземления которые обеспечат безопасную тушения возгорания в силовом трансформаторе также руководитель электро сетевого объекта должен допустить руководителя тушения пожара к тушению электроустановки частности силового трансформатора.

Прибывшие на место возгорания подразделения пожарной охраны либо каких других организаций связанных с тушением возгорании на электроустановках должны быть обеспечены специальными средствами

защиты в частном диэлектрическим перчатками и электрическими ботами также не должно быть выдано специальное заземление которое будет заземлять пожарный ствол либо пеногенератор в установленном для этого месте в электроустановке.

Обязательным условием успешного тушения пожара на электрооборудовании является то что оперативный персонал должен непосредственно вести контроль за тушением пожара периодически докладывать руководителю электросетевого объекта о этапах тушения пожара тому что он локализован либо полностью ликвидирован либо произошло увеличение площади возгорания.

Таким образом руководители электросетевого объекта принимают дальнейшие меры по режим работы объектов например он может отключить дополнительное оборудование на которой возможно переброс возгорания Либо наоборот принять определённые меры по нагрузке или по набору нагрузки того электрооборудования которое осталось в работе Для обеспечения электроснабжения всех потребителей которые в данное время получает питание у данного объекта.

При ликвидации возгорания пожарными подразделениями руководитель тушения пожара обязан сообщить об этом начальнику электросетевого объекта и объяснить Какие меры были приняты при ликвидации возгорания также он должен объяснить какая была площадь возгорания и чтобы было повреждено в результате возгорания дополнительное должен сообщить того Какими средствами были потушен пожар И сколько времени и огнетушащих средств было на это потрачено.

После ликвидации аварии оперативный персонал должен оценить обстановку осмотреть электрооборудование которой пострадала это электрооборудования которое возможно включить после ликвидации возгорания при этом оперативный персонал который участвует в тушении пожара докладывает руководителю электросетевого объекта о том что возможно включение какой-либо части электроустановки в работу после этого

принимается решение о включении о наборе нагрузки либо каких других мерах по сохранению электроснабжения подключённых потребителей.

Оборудование в обязательном порядке осматривается и выводится в ремонт с соблюдением всех требуемых мер безопасности по поражению электрическим током в частности он должен быть создан видимый разрыв со всех сторон откуда может быть подано напряжение а также включен заземляющие ножи либо установлены специальные переносные заземления которое обеспечивает безопасное выполнение работ в электроустановках в том числе и на повреждённых от возгорания.

После вывода в ремонт электрооборудования приглашаются ремонтный персонал который должен в кратчайшие сроки организовать и ремонт электрооборудования и ввести его в работу если это возможно если такой возможности не предоставляются Следовательно персонал принимает решение о замене данного оборудования на новое либо о его Диман тоже в зависимости от ситуации.

Возгорание в электроустановках является очень опасным фактором который довольно часто в них возникает и при этом оперативный персонал обязательно должен быть обучен действием в случае возникновения таких ситуаций.

Периодические тренировки включая внеплановое с использованием индивидуальных регистраторов а также при использовании диктофонов должны периодически производиться ежегодно на объекты электросетевого хозяйства использованием всех оперативных работников чтобы они получили специальное опыт и дальше в данной ситуации могли из реагировать как положено.

Полученный в ходе тренировок опыт применяется в случае возникновения какой-либо нештатной ситуации и скорость реакции оперативного персонала либо скорость тушения возгорания либо скорость ликвидации нарушений режима работы значительно увеличивается у того персонала который прошёл специальные тренировки поэтому данные

тренировки обязательны для всех сотрудников оперативных служб оперативных работников оперативно технического персонала а также административно-технический персонал должен обязательно участвовать в данной тренировках чтобы дали оценивать Результаты работы оперативного персонала делать выводы и соответственно выдавать определённое распоряжение для ещё большего повышения качества обслуживания

Весь персонал который обслуживает электроустановки должен периодически проходить специальные по повышению квалификации в частности при ликвидации аварийной ситуации в действующих электроустановках.

К примеру должны проводиться периодические противоаварийные тренировки которые предназначены для повышения квалификации персонала и соответственно они должны приводить к тому что у персонала появляются определённые навыки по ликвидации аварийных ситуаций.

Тренировки проходят на оборудовании которое по факту эксплуатируются на подстанции либо в электрических сетях и соответственно должны привлекаться различные работники в том числе административно-технический персонал для проведения данных тренировок.

При начале тренировки соответственно проводится всем целевой инструктаж по безопасным методам выполнения данной тренировки и соответственно после получения инструктажа всем работникам выдаются специальные указывающая то что они являются от персоналом который будет проходить специальную тренировку и чтобы не было возможности перепутать их с работниками которые по факту сейчас работают надо на электроустановке.

После проведение инструктажа и получение специальных обозначений весь персонал выдвигается на рабочие места где будет проходить непосредственно сама тренировка при этом в ходе целевого инструктажа им должны быть определены специальные мероприятия которые говорят о том что все действия персонала должны быть условными без непосредственного воздействия на коммутационные аппараты и либо иное другое оборудование.

По приходу на рабочие места оперативный персонал ознакомливается с данными о действующем электрооборудовании которое будет использоваться в ходе тренировки а также после начала самой тренировки соответственно персонал должен получать определённые сигналы говорящий Том Какая чрезвычайная ситуация либо какое-то отклонение от режима работы электрооборудования происходит в определённый момент времени при этом следует отметить что данные сигналы будет выдавать непосредственно оперативному персоналу тот работник который непосредственно руководит его тренировкой.

После получения сигнала в виде какой-либо записки либо ещё каким-либо образом оперативный персонал должен проанализировать ситуацию и соответственно принять меры по ликвидации данного нарушения при этом если у него есть в подчинении какой-либо другой оперативный персонал соответственно он должен дать команду данному персоналу выполнить осмотр электроустановки которая была отключена по условиям тренировки. Оперативный персонал который получил команду от вышестоящего оперативного персонала должен в скором времени проследовать к Отключившейся электроустановки соответственно смотреть её и осмотреть в обязательном порядке панели защит при этом у этого оперативного персонала также должен быть представлен сотрудник который будет контролировать его действия в ходе ликвидации аварийной ситуации и соответственно подавать ему сигналы в виде Записок о том какие защиты отключили данные электрооборудованием.

После выполнения тщательного осмотра электроустановки а также защиту которая её отключили соответственно оперативный персонал докладывать своему вышестоящему оперативному персоналу всю информацию которую он нашёл в ходе осмотра электроустановок и панелей защит в обязательном порядке должны быть перечислены все защиты которые отключили электрооборудования не допускается пропуск каких-либо сигналов



либо ещё каких-то источников информации так как ликвидация аварий может быть затянута на неопределённый срок.

После того как вышестоящий оперативный персонал Получил информацию от нижестоящего оперативного персонала он принимает решение о том какие действия должны быть выполнены в последующем времени.

Потом что он планирует делать он соответственно должен докладывать и непосредственно курирует его выполнением противоаварийных мероприятий соответственно он должен в устной форме доложить ему о том какая неисправность была выявлена в ходе осмотра электроустановки и какие меры он хочет принять по ликвидации соответственно работник который проверяет работу оперативного персонала в своём журнале должен в обязательном порядке сделать запись о том правильный или действие принимает оперативный персонал Либо они являются не правильными и сообщить ему об этом.

После оперативный персонал приступает к выполнению всех мероприятий которые должны быть выполнены для ликвидации чрезвычайной ситуации при этом как указывалось ранее он не должен воздействовать на коммутационные аппараты и иное оборудование только показывая пальцем он должен указывать на то какой аппарат он хочет включить либо отключить если необходим вывод в ремонт электрооборудования соответственно проверяющим улицу он сообщает о том что данное оборудование выводится в ремонт и приглашается ремонтная бригада для устранения всех неисправностей.

Персонал с использованием видеорегистраторов должен провести специальные оперативные переключения для вывода в ремонт электрооборудования если это необходимо также все эти операции выполняются в условной форме с выходом на рабочее место непосредственно где произошло возникновения нештатной ситуации также следует отметить что должны выходить все работники как выполняющие операции так и контролирующие лица соответственно.

После выполнения всех необходимых операций и соответственно оперативный персонал докладывает контролирующим лицам а то что электроустановка выделенного ремонт и остальная её часть может быть включена в работу при необходимости.

Контролирующее лицо соответственно определяет теле мероприятия выполненные Либо они были неправильными и соответственно делать запись в своём журнале с последующей оценкой по пятибалльной шкале подчинённого оперативного персонала.

Дальше оперативного персонала соответственно после вывода в ремонт электрооборудования докладывает об этом вышестоящему оперативному персоналу также он докладывает ему о том что оборудование выведено в ремонте что ремонтная Бригада может быть допущенным и со словами они допускают в ремонтную бригаду к выполнению работ в электроустановках при этом остальная часть электроустановки должна быть включена в работу если есть такая возможность.

По приходу на рабочее место оперативный персонал в обязательном порядке должен сделать запись в оперативном журнале о том какие работы были проведены и какая электроустановка была введена в ремонт соответственно должны также быть записи о том какие коммутационные аппараты были включены в каких распределительных устройствах и также где установлены специальные заземляющие устройства и либо заземляющие ножи всё это является обязательным при работе в действующих электроустановках. Вся тренировка по ликвидации аварийной ситуации происходит в присутствии контролирующих лиц при этом контролирующие лица не должны отлучаться от выполнения своей задачи.

Там постоянно должен происходить контакт между лицами которые выполняют непосредственную тренировку и контролирующими лицами в ходе диалога должны обсуждаться какие-то вопросы должны задавать какие-то вопросы при этом контролирующее лицо вправе задавать несколько вопросов оперативному персоналу для оценки его дееспособности.

Соответственно подчинённые оперативного персонала должен также общаться с контролирующими лицами и отвечать на все их вопросы по необходимости

Также оценки следует отнести и оценку вышестоящего оперативного персонала и нижестоящего оперативного персонала которые связаны с между собой при ликвидации аварийной ситуации.

В ходе тренировки могут рассматриваться значительное количество задач и при этом следует отметить то что все они должны решаться по мере их поступления либо одновременно степень количества задача должно зависеть от контролирующего лица насколько быстро и насколько часто он будет выдавать новые задания оперативному персоналу.

Выполнение всех поставленных задач оперативного персонала а также могут быть определённые новые задачи связанные как с медициной так и с пожарной безопасностью например ему могут быть заданы вопросы по поводу оказания помощи пострадавшему в действие электрического тока и Какие действия он должен предпринять в данной ситуации.

Оперативный персонал должен в подробностях разъяснить контролирующим лицу какие именно он должен предпринимать мероприятия при спасении пострадавшего от действия электрического тока Какими средствами защиты он должен пользоваться какие электроустановки он должен отключать В какой последовательности а также он должен полностью рассказать контролирующим лицу Как именно будет происходить реанимация пострадавшего с использованием какого количества лиц и так далее.

Правила оказания медицинской помощи пострадавшему является неотъемлемой частью работы электротехнического персонала так как персонал очень часто встречается с поражением электрическим током различных сотрудников поэтому он должен хорошо быть обучен действия в данной ситуации и соответственно иметь практические навыки про реанимации и персонала которые подвергся поражения электрическим током.

При выполнении противоаварийной тренировки и оперативный персонал должен наглядно показать контролирующим лицу как будет происходить реанимация как будет происходить спасение пострадавшего от действия электрического тока и какие электроустановки и будут отключены не в ходе выполнения данной тренировки при этом оперативный персонал указывает на то сколько лиц необходимо для выполнения реанимационных мероприятий какие мероприятия будут приняты для того чтобы а минимально Короткие сроки и поставить человека на ноги и соответственно должно быть указано то что происходит вызов бригады скорой помощи на рабочее место для помощи в реанимации пострадавшего.

При проведении тренировок также следует отметить особое внимание и правилам тушения возгорания в электроустановках при этом следует отметить что зависимость от напряжения электроустановки и соответственно применяются различные методы по тушению данных возгорание а также следует отметить что оперативный персонал должен знать как поступать ему в той или иной ситуации при возгорании электроустановок. На подстанции может иметься такое электрооборудования которое запрещено отключать по условиям безопасности технологии выработки электроэнергии поэтому данные оборудования в случае возгорания на нём не должно отключаться ни в каком случае а тушится прям непосредственно в работе под напряжением такая процедура допускается При тушении электроустановок под напряжением до 400 вольт.

Оперативный персонал должен знать какими средствами пожаротушения он может пользоваться в той или иной ситуации например если действие происходит в электроустановки до 1000 В можно пользоваться углекислотным огнетушителем и порошковыми огнетушителями и так далее Однако если электроустановка имеет напряжением выше 1000 В и пользоваться можно только углекислотным огнетушителем ими при этом следует отметить что их напряжение применение также ограничено до 10 кВ.

Оперативный персонал должен в подробностях рассказывать контролирующим улицу каким именно образом будут происходить все операции включая ликвидации аварийной ситуации включает допуск ремонтных бригад включая вывод оборудования в ремонт для соответствующего проведения ремонта электрооборудования также он должен рассказывать Все медицинские аспекты при спасении пострадавшего от действия электрического тока а также он должен знать и рассказывать контролирующим улицу все мероприятия При тушении возгорания в действующих электроустановках включая электроустановки которые находятся под напряжением либо а бессточные и заземлены.

Окончание тренировки в составе создаётся специальный акт о выполнении противоаварийные тренировки в который заносятся все данные о тех лицах которые проходили данную тренировку и соответственно должны быть выставлены им соответствующие оценки на основании которых дали будет приниматься решение о том правильно или действие принимали сотрудники организации Либо они были неверными в случае если оценка является очень низкой либо неудовлетворительной принимается решение о проведении дополнительной противоаварийные тренировки с учётом всех нюансов которые бы были выявлены в ходе первой оперативной тренировки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении данной работы основным вопросом который был решен это проектирование современной системы электроснабжения потребителей жилого микрорайона Парковый Приморского края с центром питания подстанция Садовая а так же вопросы связанные с выбором оборудования самого источника питания. Были рассмотрены вопросы связанные с выбором современного оборудования для системы электроснабжения.

При выполнении этой работы было решено значительное количество задач таких как определение расчетных нагрузок трансформаторных подстанций, определение места расположения трансформаторных подстанций, расчет сечений кабельных линий для питания КТП, также будет проведен выбор схемы электроснабжения а так же выполнено решение остальных сопутствующих задач включая выбор оборудования на источнике питания ПС Садовая.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Волог-да: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.

2 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2018. - 192 с.

3 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование.: Учеб-ник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2015. - 48 с.

4 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ Инфра-М, 2012. - 416 с.

5 Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов – М.: Энергоатомиздат, 2006.

6 Бегентаев М.М. Экономика промышленности учебное пособие. – Издательство: Павлодар: Кереку Год: 2008

7 Булгаков А. Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике: Учебное пособие. / А. Б. Булгаков. – Благовещенск: Изд – во АмГУ, 2020. -90 с.

8 Герасимов В.Г. Электротехнический справочник Т.3 //В. Г. Герасимов, П. Г. Грудинский, В. А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 880 с.

9 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. // В.И. Идельчик – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 592 с.

10 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование органи-заций и учреждений (для бакалавров). Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2017. - 272 с.

- 11 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / Э.А. Киреева. - М.: Кно-Рус, 2015. - 192 с.
- 12 Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.
- 13 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2016. - 160 с.
- 14 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин, Б.В. Жи-лин, М.Г. Ошурков. - Рн/Д: Феникс, 2017. - 416 с.
- 15 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: учебник / Б.И. Кудрин. - РнД: Феникс, 2018. - 382 с.
- 16 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учрежде-ний высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.
- 17 Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. // А.В. Лыкин – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2012. – 248 с.
- 18 Лыкин А.В. Распределительные электрические сети. М.: Нововибирский государственный технический университет, 2018.
- 19 Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.:Инфа-Инженерия, 2020.
- 20 Ополева, Г.Н. Электроснабжение промыш. предприятий и горо-дов: Учебное пособие / Г.Н. Ополева. - М.: Форум, 2018. - 350 с.
- 21 Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети. Проектирование: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд., испр. и до п.// Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин – Мн.: Выш. Шк., 2008.-308с.: ил.
- 22 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб и доп. – И.: Энергоатомиздат, 2016.
- 23 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)



24 Собрать С.В. Пожарная безопасность электроустановок – М.ПожКнига 2010.

25 Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики : учебное пособие / В.Я. Ушаков. - Томск : Изд-во ТПУ, 2014. - 447 с.

26 Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей //Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян – М.: ЭНАС, 2012. – 365 с.

27 Энергоэффективное электрическое освещение : учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др. ; под ред. Л.П. Варфо-ломеева. - Москва : Изд-во МЭИ, 2013. - 288 с.

28 Энергоэффективность в России: скрытый резерв. - Москва : ЦЭНЭФ, 2007.- 162 с.

29 <https://ru.wikipedia.org>

30 Данные преддипломной практики

ПРИЛОЖЕНИЕ А - Расчет мощности нагрузки

Номер КТП	$P_{Робц}$ (кВт)	$Q_{Робц}$ (квар)	$S_{Робц}$ (кВА)
1	1383,45	222,37	1401,21
2	1347,16	223,01	1346,56
3	702,56	124,86	713,57
4	1353,28	208,26	1369,21
5	1353,28	208,26	1369,21
6	870,5	166,17	886,22

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Выбор трансформаторов 6/0,4 кВ

Номер КТП	$S_{робц}$ (кВА)	$S_{треб}$ (кВА)	$S_{тном}$ (кВА)	$k_{норм}$	$k_{нав}$
1	1401,21	1000,86	1000,00	0,70	1,40
2	1346,56	961,83	1000,00	0,67	1,35
3	713,57	509,69	630,00	0,57	1,13
4	1369,21	978,01	1000,00	0,68	1,37
5	1369,21	978,01	1000,00	0,68	1,37
6	886,22	633,01	1000,00	0,44	0,89

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Определение расчетных мощностей 6 кВ КТП

Номер КТП	$P_{Робц}$ (кВт)	$Q_{Робц}$ (квар)	$S_{Робц}$ (кВА)	$\Delta P_m$ (кВт)	$\Delta Q_m$ (квар)	$\Delta S_m$ (кВА)	$P_{рен}$ (кВт)	$Q_{рен}$ (квар)	$S_{рен}$ (кВА)
1	1383,45	222,37	1401,21	15,38	64,9	66,70	1398,83	287,27	1467,91
2	1347,16	223,01	1346,56	14,78	62,35	64,07	1361,94	285,36	1410,63
3	702,56	124,86	713,57	7,83	33,04	33,95	710,39	157,90	747,52
4	1353,28	208,26	1369,21	15,03	63,39	65,15	1368,31	271,65	1434,36
5	1353,28	208,26	1369,21	15,03	63,39	65,15	1368,31	271,65	1434,36
6	870,5	166,17	886,22	9,73	41,03	42,17	880,23	207,20	928,39
всего				77,78	328,10	337,20	7088,01	1481,03	7423,18

## ПРИЛОЖЕНИЕ – Г Данные о потребителях

Номер на схеме	Потребитель				
	Тип	Количество потребителей	Количество квартир в доме (мест)	этажность	Удельная мощность (кВт/ед.)
1	Многоквартирный дом	1	222 кв	14	1,23
	Парикмахерская	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,054
	Продовольственный магазин	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
2	Многоквартирный дом	1	222 кв	14	1,23
	Магазин строительных материалов	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
	Школа иностранных языков	1	25 уч	1	0,17
3	Многоквартирный дом	1	222 кв	14	1,23
	Кафе	1	50 мест	1	1,04
	Магазин алкогольной продукции	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
4,5,6,7,8,9	Многоквартирный дом	6	224 кв	14	1,23
10	Детский сад	1	200 мест	2	0,46
11	Торговый центр	1	1000 м <sup>2</sup>	2	0,25
12	Административное здание	1	800 м <sup>2</sup>	1	0,054
13	Магазин	1	120	1	0,25
14	Школа	1	400 учащихся	3	0,17
15	Административное здание	1	200 м <sup>2</sup>	1	0,054
16	Многоквартирный дом	1	300 кв	10	1,23
	Продовольственный магазин	1	100 м <sup>2</sup>	1	0,25
	Магазин алкогольной продукции	1	50 м <sup>2</sup>	1	0,25
17	Гаражный массив	20	-	1	0,2
18	Склад	1	400 м <sup>2</sup>	1	0,008
-	Освещение улиц	-	2 км	-	2,0