

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрооборудования и электрохозяйства РП-5 напряжением 6 кВ ЗАО «КВАНТ»

Студент(ка)

И.А. Скляр

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## **Аннотация**

Темой выпускной квалификационной работы является (ВКР) «Реконструкция РП-5».

В ВКР описывается реконструируемый объект, производится расчет токов короткого замыкания, выполнен выбор комплектного распределительного устройства и устанавливаемого оборудования. Произведен расчет освещения и собственных нужд. Описаны условия размещения и монтажа устанавливаемого оборудования. Далее произведен выбор микропроцессорных устройств обеспечивающих релейную защиту. И в конце ВКР произведен расчет заземления и молниезащиты.

ВКР состоит из пояснительной записки объемом 54 листа, 8 таблиц и 14 рисунков.

## Содержание

Введение.....	4
1. Общая характеристика объекта.....	6
2. Расчет токов короткого замыкания.....	9
3. Выбор комплектного распределительного устройства.....	13
4. Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей.....	16
5. Освещение.....	35
6. Собственные нужды.....	39
7. Размещение и монтаж.....	40
8. Релейная защита и автоматика.....	43
9. Заземление.....	46
10. Молниезащита.....	50
Заключение.....	51
Список использованных источников.....	52

## Введение

Электроснабжение современного города играет очень важную роль, как для нормального жизнеобеспечения проживающего в нем населения, так и для нормальной работы и функционирования предприятий, организаций и учреждений находящееся на его территории.

Для того чтобы осуществить питание потребителей всего города и прилежащих к нему поселений, создают систему электрических сетей. Данная система имеет свои характерные особенности, по сравнению с электрическими сетями энергетических систем. К составу городских электрических сетей относятся все электроустановки, предназначенные для электроснабжения города, такие как: электрические станции, понижающие и преобразовательные подстанций, питающие и распределительные линии и электроприемники обеспечивающие технологические процессы коммунально-бытовых, промышленных и транспортных потребителей электроэнергии, расположенных на территории города и частично в пригородной зоне. При помощи электрических сетей осуществляется электроснабжение жилых домов, мелких, средних и даже крупных промышленных потребителей, общественно-коммунальных учреждений, электрифицированного городского транспорта и т.д. Электрические сети становятся самостоятельной областью энергетики. При реконструкции сетей обнаруживаются новые характерные особенности городских сетей, с целью дальнейшего совершенствования.

Увеличение числа городских жителей, развитие промышленности, создание новых по своей структуре производств, реконструкция и строительство действующих производственных объектов приводит к увеличению электропотребления в городах. Что в свою очередь требует развитие городских электрических сетей.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение надежности, экономичности электроснабжения потребителей района города от РП-5.

К задачам выпускной квалификационной работы относятся:

- расчет токов короткого замыкания, необходимого для выбора электрических аппаратов и токоведущих частей;
- выбор комплектного распределительного устройства (КРУ), включающий в себя подробное описание и преимущества выбранного КРУ.
- выбор и замена электрических аппаратов и токоведущих частей, включающий в себя выбор: выключателей, трансформаторов тока, разъединителей, трансформаторов напряжения питающих кабелей и шин и т.д.
- расчет освещения;
- расчет собственных нужд и выбор трансформатора собственных нужд;
- описания условий размещения и монтажа;
- выбор микропроцессорных устройств обеспечивающих релейную защиту;
- расчет заземления и молниеотвода.

## 1 Общая характеристика объекта

Распределительный пункт (РП) №5 находится в Шлюзовом микрорайоне по адресу ул. Энергетиков 21А г. Тольятти. Обслуживанием РП-5 занимается организация ЗАО «КВАНТ». Данная организация обеспечивает электроснабжение Центрального и Комсомольского района. На рисунке 1.1 показано расположение РП-5.

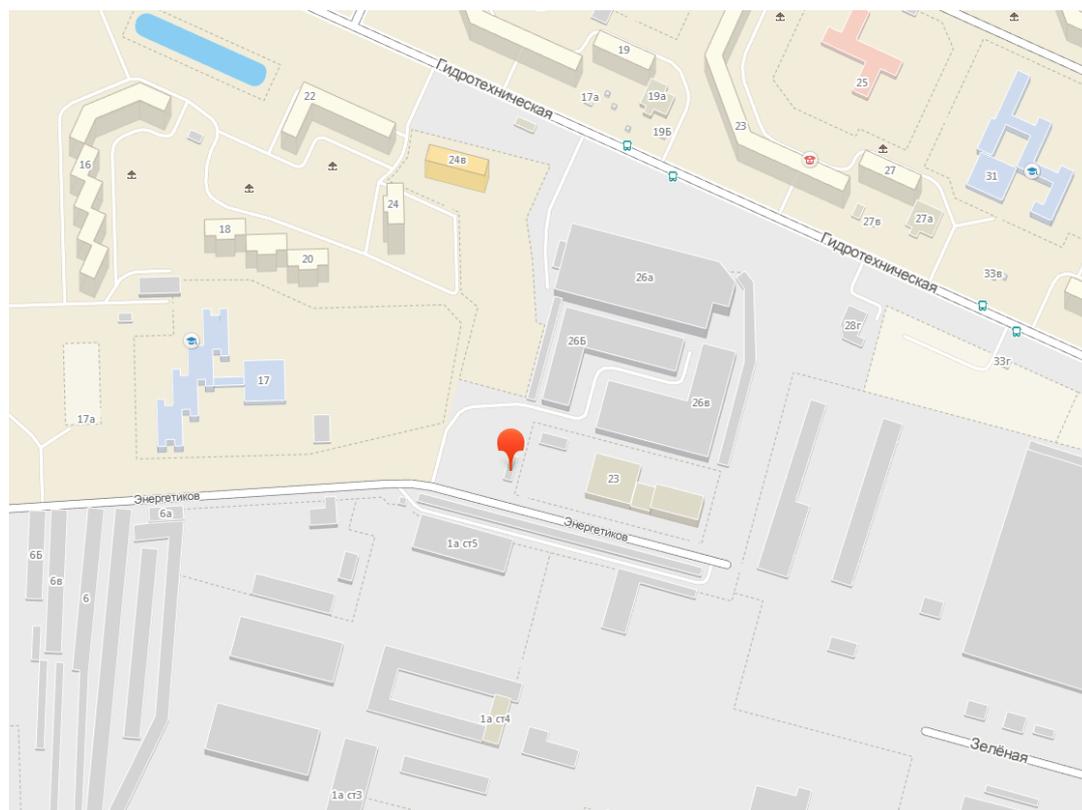


Рисунок 1.1 – Расположение РП-5

Распределительное устройство (РУ) РП-5 служит для приема и распределения электроэнергии без ее преобразования и трансформации, между отдельными потребителями. Габариты РП-5 составляют 15х6х5 м. На территории РП-5 находится помещение распределительного устройства 6 кВ, помещение устройств собственных нужд. Стены РП выполнены из ж/б ребристых плит. Кровля односкатная. Полы бетонные с кабельными каналами.

В РП имеются два выхода, расположенные по торцам здания. В продольных стенах здания по обеим сторонам на глубине 1,2 м от уровня земли предусмотрен заход силовых электрических кабелей. Внешний вид РП-5 представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Внешний вид РП-5

По характеру электропотребления и показателям электрической нагрузки все потребители города разделяются на следующие группы: потребители селитебных зон города, промышленные потребители, коммунальные потребители общегородского значения (водопровод, канализация и т.д.), потребители районов прилегающих к городу.

Для электрических сетей расчетной нагрузкой является, как правило, максимально возможная нагрузка длительностью не менее 30 минут. Активные и реактивные нагрузки отдельных потребителей являются случайными функциями ряда переменных величин. Нормированные значения нагрузки жилых и общественных зданий разработаны на основании многолетних исследований, действующих норм и ведомственных нормативных документов.

Потребителями электрической энергии РП-5 являются жилые дома, детские сады, школы, магазины, котельная и тепловой пункт в каждом квартале, распределительная насосная станция и т.д.

Максимальные электрические нагрузки РП-5 на отходящих фидерах представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Электрические нагрузки РП-5

Номер фидера	Эл. нагрузка, А
Ф-11 ТП-1001 (гаражи)	60
Ф-12 ТП-471	168
Ф-13 ТП-5 (Энергореммаш)	320
Ф-14 ТП-550(Т-2)	210
Ф-15 ТП-481	170
Ф-16 ТП-5 (Энергореммаш)	320
Ф-17 ТП-580	155
Ф-18 ТП-466	100
Ф-19 ТП-550(Т-1)	210
Ф-20 ТП-594	192
Ф-21 ТП-556	115

## 2 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) необходим для выбора и проверки оборудования, проектирования и настройки устройств релейной защиты и автоматики, проектирования заземления и т.д.

В сетях 6(10) кВ при выборе оборудования следует использовать трехфазный ток КЗ т.к. он имеет наибольшее значение [5].

При расчете КЗ в сетях 1000 В и выше, учитывается только индуктивное сопротивление элементов цепи. Расчет производится в относительных единицах. На рисунке 2.1 представлена расчетная схема токов КЗ. На рисунке 2.2 представлена схема замещения токов КЗ.

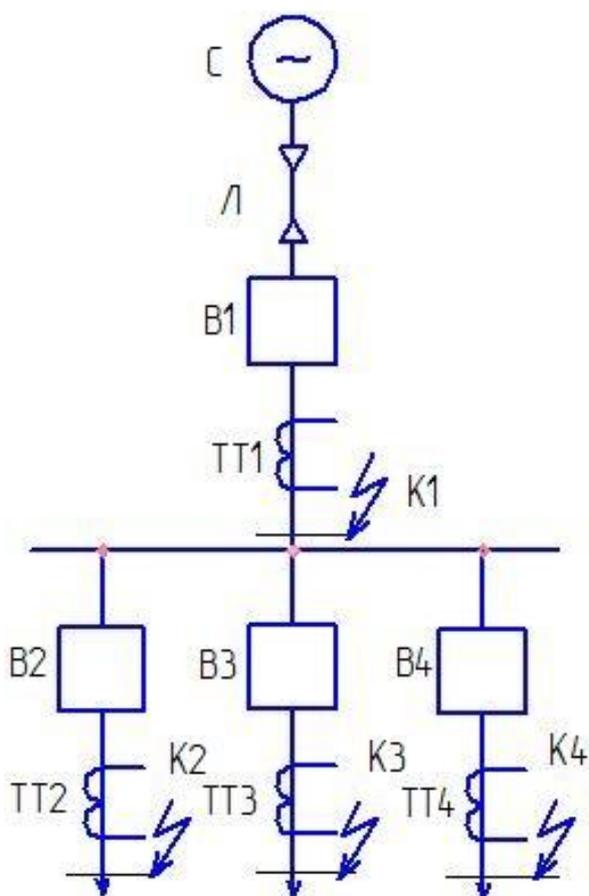


Рисунок 2.1 – Расчетная схема

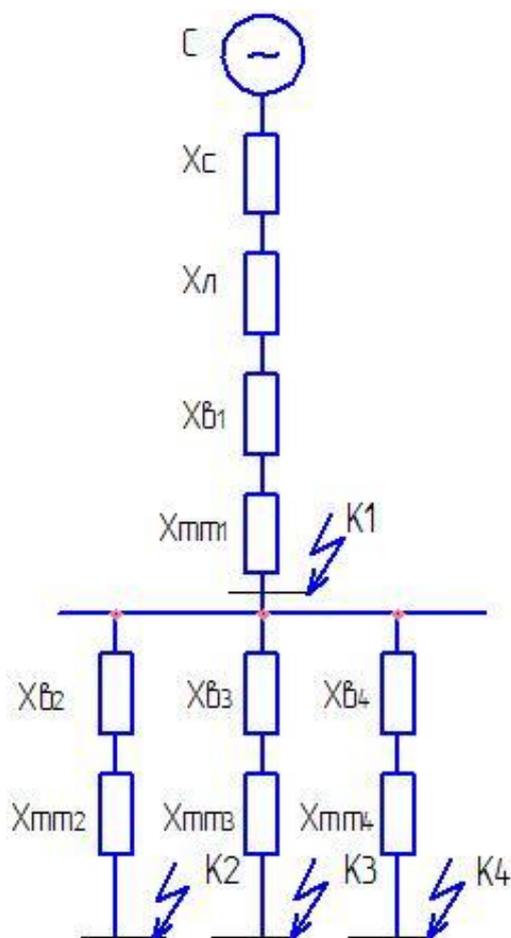


Рисунок 2.2 – Схема замещения

## 2.1 Расчет трехфазного короткого замыкания

Т.к индуктивные сопротивления контактов выключателей, трансформаторов тока слишком малы, то их значения при расчете КЗ можно не учитывать.

Исходные данные:

Система:  $U_H = 6$  кВ,  $S_6 = 1000$  МВА,  $S_{КЗ} = 223.5$  МВА.

Линия:  $x_0 = 0,071$  Ом/км,  $l = 0.89$  км,  $U_H = 6$  кВ,

где  $x_0 = 0,071$  – сопротивление кабеля определяемое по справочнику [5].

Расчет сопротивлений элементов схемы:

В соответствии с схемой замещения находим сопротивление каждого элемента цепи.

Система:

$$X_c = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}, \quad (2.1)$$

$$X_c = \frac{1000}{223.5} = 4.474;$$

Линия:

$$X_{л} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{н}^2}, \quad (2.2)$$

$$X_{л} = 0.071 \cdot 0.89 \cdot \frac{1000}{6.3^2} = 1.592;$$

Результирующее сопротивление в точке К1:

$$X_{рез} = X_c + X_{л}, \quad (2.3)$$

$$X_{рез} = 4.474 + 1.592 = 6.06;$$

Базисный ток:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (2.4)$$

$$I_{\sigma} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 91.642 \text{ кА};$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{\sigma}}{x_{рез}} \cdot I_{\sigma}, \quad (2.5)$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{6.06} \cdot 91.642 = 15.124 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot k_{y\delta}, \quad (2.6)$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 15.124 \cdot 1.72 = 36.788 \text{ кА},$$

где  $k_{y\delta}=1.72$  – ударный коэффициент определяемый в справочнику [3].

Результирующее сопротивление в точках К2, К3 и К4 равно результирующему сопротивлению в точке К1, т.к. индуктивные сопротивления контактов выключателей, трансформаторов тока слишком малы и их сопротивления при расчетах не учитываются. Следовательно значения тока КЗ, базисного и ударного тока в точках К2, К3, К4 будет равен значениям в точке К1.

### 3 Выбор комплектного распределительного устройства

Комплектные распределительные устройства (КРУ) выбираются по следующим параметрам:

1) Номинальному напряжению:

$$U_{сет.ном.} \leq U_{ном},$$
$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

2) Номинальному току:

$$I_{р.мах} \leq I_{ном},$$

Расчетный ток с учетом 40% перегрузки:

$$I_{р.мах} = I_p \cdot 1.4, \quad (3.1)$$
$$I_{р.мах} = 320 \cdot 1.4 = 448 \text{ А},$$

где  $I_p$  - максимальное значение тока на отходящих фидерах представленное в таблице 1.1.

$$448 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

Таблица 3.1 – Выбор камер КРУ

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6(10) кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$
2	Номинальный ток	448 А	630 А	$I_{р.мах} \leq I_{ном}$

В качестве камер комплектного распределительного устройства выбраны КСО-298. Данные камеры используются на других объектах ЗАО «КВАНТ» и имеют массу положительных отзывов в процессе эксплуатации. К достоинствам камер КСО-298 можно отнести низкую стоимость по сравнению с другими камерами КРУ, а также легкость и простоту в эксплуатации и ремонте. Общий вид камеры КСО-298 представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид камеры КСО-298

Камера КСО-298 имеет следующие размеры: ширина 750мм, глубина 1100мм, высота 2650 мм.

Камеры КСО-298 имеют возможность установки:

- вакуумные выключателя: ВВ/TEL, ВВМ-СЭЩ, EVOLIS и др.;
- трансформаторы тока: ТЛК-10, ТПОЛ-10, ТОЛ-10 и др.;
- разъединители РВЗ и РВФЗ 630,1000А с приводами ПР-10 и заземляющими ножами;
- трансформаторы напряжения: ЗНИОЛ, НАЛИ-СЕЩ, ЗНИОЛ и др.;
- ограничители перенапряжения: ОПН-6, ОПН-10.;
- предохранители: ПКН, ПКТ;
- силовые трансформаторы ТМГ-20, ТМГ-40.

КРУ КСО-298 является современным поколением камер КСО и имеет такие преимущества как:

- одинаковый размер всех ячеек включая ячейки с трансформатором собственных нужд;
- корпус выполнен из тонколистовой оцинкованной стали покрытой специальной полимерным покрытием, что обеспечивает необходимую коррозионную стойкость и прочность;
- внутреннюю шину заземления;
- возможность установки ОПН;
- смотровые окна для наблюдения расположения аппаратов и освещения отсеков;
- достаточно широкий выбор элементной базы вспомогательных цепей, включая микропроцессоры;
- все необходимые механические блокировки такие как:
  - большой кабельный отсек для подключения 2 трехфазных кабелей сечением до 240 мм<sup>2</sup> или 3 однофазных до 500 мм<sup>2</sup>;
  - возможность извлечения выключателя и трансформаторов без демонтажа камеры, для дальнейшего ремонта или замены;
  - высокая безопасность, благодаря использованию закрытых шин;
  - конструкция ячейки имеет не большие размеры, по сравнению с другими камерами КРУ, что дает существенный выигрыш площади РП.

## 4 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей

Выбор оборудования распределительного пункта начинается с определения расчетных условий, которые включают в себя расчетные рабочие токи присоединений и токи КЗ.

Далее производится сопоставление расчетных значений с номинальными параметрами аппаратов, выбираемых по справочникам и каталогам.

Также при выборе оборудования необходимо учитывать такие параметры как род установки, вес, габариты, стоимость, удобство размещения в РП и др.

### 4.1 Выбор выключателей

Выключатель выбирается по следующим условиям:

1) Номинальному току:

$$I_{p.\max} \leq I_{\text{ном}},$$
$$448 \text{ A} \leq 1000 \text{ A};$$

2) Номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}},$$
$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ};$$

3) Отключающей способности:

а) По симметричному току отключения:

$$I_{n,\tau} \leq I_{\text{откл.ном}},$$
$$15.12 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

б) Отключение апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{НОМ}};$$

$$i_{a,\text{НОМ}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор.}} / 100) \cdot I_{\text{откл.н.ом}}; \quad (4.1)$$

$$i_{a,\text{НОМ}} = \sqrt{2} \cdot 0.2 \cdot 20 = 5.65 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot e^{-\tau/T_a}; \quad (4.2)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 15.12 \cdot 0,17 = 3.63 \text{ кА},$$

$$3.36 \text{ кА} \leq 5.65 \text{ кА},$$

где  $i_{a,\tau}$  - значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени

$$\tau = t_{pz} + t_{c.в};$$

$t_{pz} = 0.01 \text{ с}$  – значение времени действия релейной защиты;

$t_{c.в}$  – время отключения выключателя;

$\beta_{\text{нор.}}$  – нормированное содержание апериодической составляющей в отключаемом токе, %, которое определяется по известным кривым [4 – рис. 3.4].

4) Проверка на электродинамическую стойкость:

$$I_{n,o} \leq I_{npc},$$

$$15.12 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{y0} \leq i_{npc},$$

$$36.78 \text{ кА} \leq 52 \text{ кА},$$

где  $I_{npc}$  – действующее значение предельного тока КЗ;

$i_{npc}$  – амплитудное значение тока КЗ. Значения представлены в каталожных данных выключателя.

5) Проверка на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T,$$

если  $t_{откл} < t_T$ , то:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл},$$

где  $I_T$  – ток термической устойчивости;

$t_T$  – длительность протекания тока термической устойчивости. Значения представлены в каталожных данных выключателя.

Расчетная термическая стойкость с продолжительностью КЗ  $t_{откл} = 0.2$  с составляет:

$$B_k = I_{н.о}^3 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (4.3)$$

$$B_k = 15.12^2 \cdot (0.2 + 0.04) = 54.86 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ определяется по справочнику [3].

Т.к.  $t_{откл} < t_T$  то, термическая стойкость с продолжительностью КЗ выбранного выключателя определяется как:

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0.2 = 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (4.4)$$

Расчетные токи КЗ:

$$I_{н.о}^3 = 15.12 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 36.78 \text{ кА}.$$

Выбираем вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-20/1000 У2. Общий вид выбранного выключателя представлен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Общий вид выключателя ВВ/TEL-10-20/1000 У2.

Все каталожные и расчетные величины сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчетные и каталожные данные выключателя

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	2	3	4	5
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$
2	Номинальный ток	448 А	1000 А	$I_{р.мах} \leq I_{ном}$
3	Отключающая способность	15.12 кА	20 кА	$I_{н,τ} \leq I_{откл.ном.}$
		3.63 кА	5.65 кА	$i_{а,τ} \leq i_{а,ном}$

1	2	3	4	5
4	Электродинамическая стойкость	15.12 кА	20 кА	$I_{н,о} \leq I_{прс}$
		36.78 кА	52 кА	$i_{уд} \leq i_{прс}$
5	Термическая стойкость	54.86 кА <sup>2</sup> ·с	80 кА <sup>2</sup> ·с	$B_{к} \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$

Выбранный выключатель проходит проверку и подходит для эксплуатации на исследуемом объекте.

## 4.2 Выбор трансформатора тока

Трансформаторы тока выбираются по следующим параметрам:

1) Номинальному току:

$$I_{р.маx} \leq I_{ном},$$

$$448 \text{ А} \leq 600 \text{ А};$$

2) Номинальному напряжению:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном},$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

3) Электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном},$$

$$K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.6 = 84.85 \text{ А}, \quad (4.5)$$

$$36.78 \text{ А} \leq 84.85 \text{ А};$$

3) Термической стойкости:

$$B_{\kappa} \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T,$$

$$K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_T = 45^2 \cdot 0.6^2 \cdot 3 = 2187 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$54.86 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 2187 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$
(4.6)

- 5) Конструкции и классу точности;  
 6) Вторичной нагрузке.

Выбираем трансформатор тока ТПЛ-СЭЩ-10. Общий вид выбранного трансформатора тока представлен на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Общий вид трансформатора тока ТПЛ-СЭЩ-10

Расчетные и каталожные данные трансформатора тока сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные и каталожные данные трансформатора тока

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6(10) кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$
2	Номинальный ток	448 А	600 А	$I_{р.мах} \leq I_{ном}$
3	Электродинамическая стойкость	36.78 А	84.85 А	$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном}$
4	Термическая стойкость	54.86 кА <sup>2</sup> ·с	2187 кА <sup>2</sup> ·с	$B_{\kappa} \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_T$

В качестве измерительного прибора устанавливаем мультиметр РМ130ЕН PLUS.

Находим значение вторичной нагрузки:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}; \quad (4.7)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\kappa}; \quad (4.8)$$

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,02 - 0,01 = 1,17 \text{ Ом}.$$

Сечение соединительных проводов с алюминиевыми жилами:

$$s = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{Z_{\text{пров}}}; \quad (4.9)$$

$$s = \frac{0,0175 \cdot 40}{1,17} = 0,598 \text{ мм}^2;$$

Принимаем стандартное сечение проводов 2,5 мм<sup>2</sup>.

Трансформатор тока ТПЛ-СЭЦ-10 удовлетворяет данным параметрам.

#### 4.4 Выбор трансформатора напряжения

Трансформатор напряжения проверяется по следующим параметрам:

1) Номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}},$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

2) Вторичной нагрузке.

Т.к. вторичная нагрузка на трансформатор напряжение от мультиметра РМ130ЕН PLUS составляет минимальное значения, выбор трансформатора напряжения осуществляем только по номинальному напряжению.

Выбираем трансформатор напряжения ЗНОЛ-СЭЩ 10. Данный трансформатор напряжения является измерительным. Подходит для установки в выбранные камеры КСО-298. Также данный трансформатор обеспечивает питание контрольно-измерительных приборов, релейных (микропроцессорных) защит и приборов учета электроэнергии. Общий вид трансформатора напряжения ЗНОЛ-СЭЩ 10 представлен на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Общий вид трансформатора напряжения ЗНОЛ-СЭЩ 10

#### 4.5 Выбор разъединителя

Разъединитель выбирается по следующим условиям:

1) Номинальному току:

$$I_{p.\max} \leq I_{\text{ном}},$$
$$448 \text{ A} \leq 1000 \text{ A};$$

2) Номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном.}},$$
$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ};$$

3) Проверка на электродинамическую стойкость:

$$I_{n,o} \leq I_{\text{прс}},$$
$$15.12 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$
$$i_{y\delta} \leq i_{\text{прс}},$$
$$36.78 \text{ кА} \leq 51 \text{ кА};$$

4) Проверка на термическую стойкость:

$$B_{\kappa} \leq I_T^2 \cdot t_T,$$

если  $t_{\text{откл}} < t_T$ , то

$$B_{\kappa} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}},$$
$$54.86 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

5) Роду установки и конструкции.

Расчетные значения разъединителя, аналогичны выключателю и приведены в пункте 4.1

Выбираем разъединитель РВФз-10/630. Данный разъединитель подходит для установки в выбранные камеры КСО-298. Выбранный разъединитель предназначен для:

- безопасного производства работ, на отлучённом участке.
- для включения и отключения участков электрической цепи, находящееся под напряжением, при отсутствии нагрузочного тока.
- для отключения и включения кабельных и воздушных линий, тока холостого хода трансформаторов и токов небольших нагрузок.

В разъединителе предусмотрена механическая блокировка между валом заземляющих ножей и основным валом. Данная блокировка обеспечивает ошибочное включение.

Общий вид выбранного разъединителя представлен на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Общий вид разъединителя РВФз-10/630

Расчетные и каталожные данные разъединителя представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчетные и каталожные данные разъединителя

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$
2	Номинальный ток	448 А	1000 А	$I_{р.мах} \leq I_{ном}$
3	Электродинамическая стойкость	15.12 кА	20 кА	$I_{н,о} \leq I_{прс}$
		36.78 кА	51 кА	$i_{уд} \leq i_{прс}$
4	Термическая стойкость	54.86 кА <sup>2</sup> ·с	80 кА <sup>2</sup> ·с	$B_{к} \leq I_{Т}^2 \cdot t_{откл}$

Выбранный разъединитель проходит проверку и подходит для использования на исследуемом объекте.

#### 4.6 Выбор жестких шин

Определение сечения жестких шин производится по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{р.ном.}}{j_{эк}}; \quad (4.10)$$

$$s = \frac{448}{1.3} = 344.61 \text{ мм}^2.$$

Выбираем шины прямоугольного сечения 60х6 мм<sup>2</sup> с I<sub>доп</sub>=880А.

Выбранное сечение проверяется по :

1) Длительно допустимому току нагрева:

$$I_{мах} < I_{доп},$$

$$448A < 880A;$$

2) Термической стойкости при КЗ. Определяется минимальное сечение по условиям термической стойкости:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} \quad (4.11)$$
$$s_{\min} = \frac{\sqrt{54.86 \cdot 10^3}}{90} = 82.29 \text{ мм}^2$$

Таким образом шины термически стойки, т.к.

$$s_{\min} < s,$$
$$82.29 \text{ мм}^2 < 360 \text{ мм}^2;$$

3) Проверка частоты собственных колебаний. Данная проверка производится для предотвращения механического резонанса. Электродинамические силы, возникающие при КЗ, имеют составляющие, которые изменяются с частотой 50 и 100 Гц. В том случае если собственные частоты совпадут с этими значениями то, нагрузки на шины и изоляторы возрастут. Собственные частоты должны быть меньше 30 и больше 200 Гц, в таком случае механического резонанса не возникнет.

Частота собственных колебаний шины находится по формуле:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2\pi l^2} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (4.12)$$
$$f_0 = \frac{4.73^2}{2 \cdot 3.14 \cdot 1.5^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0.21 \cdot 10^{-8}}{0.97}} = 19.46 \text{ Гц},$$

где  $l=1.5$  м – длина между изоляторами;

$J$  – момент инерции поперечного сечения шины определяемый по формуле:

$$J = \frac{hb^3}{12}; \quad (4.13)$$

$$J = \frac{6 \cdot 0.6^3}{12} = 0.21 \text{ см}^4 = 0.21 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

$E=7 \cdot 10^{10}$  Па – модуль упругости шины;

$r_1=4.73$  – значение основной собственной частоты шины определяемое по [3, табл. 7.1]

$m$  – масса шины определяемая по формуле:

$$m = \rho \cdot b \cdot h \cdot l; \quad (4.14)$$

$$m = 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 0.6 \cdot 100 = 0.972 \text{ кг / м}$$

где  $\rho=2.7 \cdot 10^{-3}$  кг/см<sup>3</sup> – плотность материала шины(алюминий);

$l$  – принятая длина 100см.

Т.к частота свободных колебаний меньше 30 Гц и составляет 19.46 Гц, механический резонанс не возникает, следовательно, данные шины удовлетворяют условиям проверки.

4) По электродинамической стойкости при КЗ:

$$\sigma_{\text{раб}} < \sigma_{\text{доп}},$$

где  $\sigma_{\text{доп}} = 89$  Мпа – допустимое напряжение в материале шин марки АДЗ1Т.

Напряжение в материале шин при взаимодействии фаз находится по формуле:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} l_{\text{из}}^2 i_{\text{уд}}^2 k_{\phi} k_{\text{расн}}}{\lambda \cdot W \cdot a}, \quad (4.15)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1.5^2 \cdot (36780)^2 \cdot 0.65 \cdot 1}{12 \cdot 0.36 \cdot 10^{-6} \cdot 0.8} = 9.9 \text{ МПа},$$

где  $l_{из}=1.5$  м – длина пролета;

$a=0.8$  м – расстояние между фазами;

$k_{\phi}=0.65$  – коэффициент формы, который определяется по кривым в справочнике [3].

$k_{расч}=1$  – коэффициент, который зависит от расположения проводников, определяется по справочнику [3]

$\lambda=12$  – коэффициент, который зависит от условия закрепления шины определяемый по справочнику [3, табл. 7.1]

$W$  – момент сопротивления поперечного сечения шины определяемый по формуле:

$$W = \frac{hb^2}{6}; \quad (4.16)$$

$$W = \frac{6 \cdot 0.6^2}{6} = 0.36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Можно сделать вывод, что шины механически прочны, т.к.:

$$\sigma_{\text{раб}}=9.9 \text{ МПа} < \sigma_{\text{доп}}=89 \text{ МПа}.$$

#### 4.7 Выбор изоляторов

На опорных изоляторах крепятся жесткие шины. Выбираем изолятор ИОР-10-7.5 УХЛ2, высота данного изолятора составляет  $H_{из}=120$  мм. Данный изолятор предназначен для крепления и изоляции токоведущих частей в распределительных устройствах и электрических аппаратах.

Выбор опорных изоляторов осуществляется по следующим условиям:

1) Номинальному напряжению:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном},$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

2) Допустимой нагрузки на головку опорного изолятора. Максимальная нагрузка на изоляторы определяется по формуле:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{yd}^2}{a} \cdot k_{\phi} \cdot k_{расч} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7}, \quad (4.17)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{(36780)^2}{0.8} \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 1.5 \cdot 10^{-7} = 263.59 \text{ Н},$$

Внешний вид размеры опорного изолятора ИОР-10-7,5 II УХЛ2 представлены на рисунке 4.5.

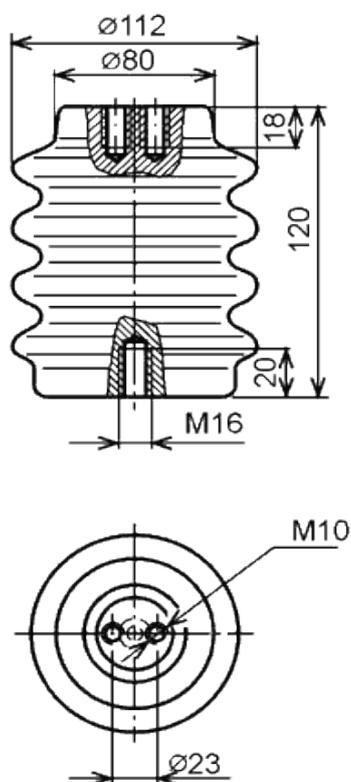


Рисунок 4.5 – Внешний вид и размеры опорного изолятора ИОР-10-7.5 II УХЛ2

$$F_{дон} = 0.6 \cdot F_{разр} \frac{H_{из}}{H}; \quad (4.18)$$

$$F_{дон} = 0.6 \cdot 7500 \cdot \frac{0.120}{0.156} = 3529 \text{ Н},$$

где  $F_{расч}$  – минимальное разрушающее усилие на изгиб, определяется по каталожным данным;

$H_{из}$  – высота изолятора;

$$H = H_{из} + b + \frac{h}{2}; \quad (4.19)$$

$$H = 0.120 + 0.006 + 0.03 = 0.156 \text{ м.}$$

Данный изолятор удовлетворяет условию, т.к.:

$$F_{расч} = 239.59 \text{ Н} < F_{дон} = 3529 \text{ Н}$$

#### 4.8 Выбор предохранителя

Предохранители выбираются по следующим условиям:

1) Рабочему току:

$$I_{раб} \leq I_{ном},$$

$$20 \text{ А} \leq 31.5 \text{ А};$$

2) Напряжению установки:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном},$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ};$$

3) Току отключения:

$$I_{p.откл} \leq I_{p.откл.ном},$$

$$15.12 \text{ A} \leq 20 \text{ A};$$

4) Конструкции и роду установки.

Выбираем предохранитель ПКТ-101.

Расчетные и каталожные данные предохранителя представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчетные и каталожные данные предохранителя

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$
2	Рабочий ток	20 А	31.5 А	$I_{раб} \leq I_{ном}$
3	Ток отключения	15.12 А	20 А	$I_{p.откл} \leq I_{p.откл.ном}$

#### 4.9 Выбор кабелей

Выбор кабеля выше 1000В осуществляется по следующим параметрам:

1) напряжению установки:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном.},$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ};$$

2) конструкции;

3) экономической плотности тока:

$$s_3 = \frac{I_{норм}}{j_3}, \quad (4.20)$$

$$s_3 = \frac{448}{1.4} = 320 \text{ мм}^2,$$

где  $j_3=1.4 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока, для кабелей с алюминиевыми жилами.

Примем два кабеля ААШВ-6 с сечением  $185 \text{ мм}^2$ .

4) по допустимому току:

$$\begin{aligned} I_{\text{продол.расч}} &\leq I_{\text{дл.доп}} \\ I_{\text{дл.доп}} &= k_1 I_{\text{доп.ном}} \\ I_{\text{дл.доп}} &= 0.93 \cdot 340 \cdot 2 = 632.4 \text{ А} \end{aligned} \quad (4.21)$$

где  $I_{\text{дл.доп}}$  – длительно допустимый ток, с учетом поправки на температуру окружающей среды;

$I_{\text{доп.ном}}=340 \text{ А}$  – допустимый длительный ток кабеля с алюминиевыми жилами и сечение  $3 \times 185 \text{ мм}^2$

$k_1=0.93$  – поправочный коэффициент на температуру воздуха;

$$I_{\text{продол.расч}} = 448 \text{ А} \leq I_{\text{дл.доп}} = 632.4 \text{ А}$$

Можно сделать вывод, что кабель проходит по допустимому току.

5) проверка на термическую стойкость:

$$s_{\text{min}} \leq s$$

Определяем интеграл Джоуля:

$$\begin{aligned} B_k &= I_{n,o}^2 (t_{\text{откл}} + T_a) \\ B_k &= 15.12^2 (0.25 + 0.02 + 0.01) = 64 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Определяем минимальное сечение по термической стойкости:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C_T} \quad (4.23)$$
$$s_{\min} = \frac{\sqrt{64 \cdot 10^3}}{75} = 106.6 \text{ мм}^2$$

где  $C_T = 75$  – значение функции, для кабелей с алюминиевыми жилами и напряжением 6 кВ.

$$s_{\min} = 106.6 \text{ мм}^2 \leq s = 185 \text{ мм}^2$$

Таким образом, кабель удовлетворяет условие термической стойкости.  
Окончательно принимаем два кабеля ААШВ-6 с сечением  $3 \times 185 \text{ мм}^2$ .

## 5 Освещение

Освещение является важным моментом проектирования РУ. Правильно подобранное освещение должно обеспечивать достаточный уровень освещённости помещения, следуя нормам установленных в СНиП 23-05-95\*. Установленный уровень освещения должен обеспечивать нормальные условия для эксплуатации и ремонта объекта.

Расчет освещения производится методом коэффициента использования светового потока. Данный метод используется для расчета общего равномерного освещения.

В жарком помещении с малым выделением пыли, с разрядом зрительных работ VII, с размером 15х6х5 м, необходимо достичь освещения  $E_{н} = 200$  лк. Выбираем светильник марки ЛСП44. Общий вид выбранного светильника представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Общий вид светильника ЛСП44

Технические характеристики светильника ЛСП44 представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические характеристики светильника ЛСП44

Светильник ЛСП44	
Размеры	Длина – 1249 мм Ширина – 147 мм Высота – 108 мм
Мощность ламп	40 Вт
КПД	80%
Тип кривой силы света (КСС)	М

Далее представлен расчет освещения с выбранными светильниками.

Расчетная высота:

$$h_{расч} = H - h_c - h_p, \quad (5.1)$$

$$h_{расч} = 5 - 0.6 - 0 = 4.4 \text{ м},$$

где  $h_p$  – высота рабочей поверхности, м;

$H$  – высота помещения, м;

$h_c$  – высота свеса светильников, м.

Расстояние между рядами и светильниками в ряду:

$$L = \lambda_c \cdot h_{расч} \quad (5.2)$$

$$L = 1.2 \cdot 4.4 = 5.28 \text{ м},$$

где  $\lambda_c = 1.2$  – наивыгоднейшее относительное расстояние.

Число рядов светильников в помещении:

$$n_b = \frac{B}{L}, \quad (5.3)$$

$$n_b = \frac{6}{5.28} = 1.13 \text{ шт},$$

Принимаем один ряд светильников. Все светильники будут устанавливаться по середине.

Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{расч} \cdot (A + B)}, \quad (5.4)$$

$$i = \frac{15 \cdot 6}{4.4 \cdot (15 + 6)} = 0.97 \text{ о.е.},$$

Коэффициент использования помещения  $\eta_n$  зависит от индекса помещения равному  $i=0.97$ , от коэффициентов отражения поверхностей помещения равных  $\rho_n=0.7$ ,  $\rho_c=0.5$   $\rho_p=0.1$  и от КСС светильника и определяется по таблице представленной в [5].  $\eta_n=48\%$

Коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \eta_n \cdot \eta_c \quad (5.5)$$

$$\eta = 0.48 \cdot 0.8 = 0.38 \text{ о.е.}$$

Потребный световой поток светильников:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}, \quad (5.6)$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1.3 \cdot 15 \cdot 6 \cdot 1.1}{1 \cdot 0.38} = 67736 \text{ лм},$$

где  $E_n$  – нормированная минимальная освещённость;

$\kappa=1.3$  – коэффициент запаса, для люминесцентных ламп;

$S$  – освещаемая площадь,  $m^2$ ;

$z=1.1$  – коэффициент минимальной освещённости, для люминесцентных ламп;

$n$  – число рядов светильников в помещении, шт.

Примем лампу ЛБ-40 со следующими параметрами:  $P_n=40$  Вт;  $\Phi_c=2850$  лм.

Число светильников в ряду:

$$N = \frac{\Phi}{2 \cdot \Phi_c}, \quad (5.7)$$

$$N = \frac{67736}{2 \cdot 2850} = 11.88 \text{ шт},$$

Принимаем 12 светильников в ряду.

Необходимый световой поток одной лампы:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot \kappa \cdot S \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (5.8)$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1.3 \cdot 15 \cdot 6 \cdot 1.1}{12 \cdot 2 \cdot 0.38} = 2822.36 \text{ лм},$$

Стандартный световой поток ряда светильников на 0.99% меньше расчётного, что допустимо. Окончательно применяется 12 светильников ЛСП 44 2x40.

Потребляемая мощность осветительной установки:

$$P = n \cdot N \cdot P_i, \quad (5.9)$$

$$P = 2 \cdot 12 \cdot 40 = 960 \text{ кВт},$$

где  $P_i$  – потребляемая мощность одной лампы, кВт

## 6 Собственные нужды

Питание потребителей собственных нужд (СН) распределительного пункта производится от специально установленного трансформатора.

Трансформатор СН 0.4 кВ подключен к шинам 6 кВ через предохранитель ПКТ-104, что обеспечивает защиту трансформатора от короткого замыкания.

К потребителям СН РП относятся отопление, освещение, также эксплуатационные и ремонтные нагрузки.

Для выбора трансформатора собственных нужд и определения его мощности необходимо суммировать мощность всех потребителей и учитывать коэффициент загрузки. Состав и мощности электроприемников СН приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Состав и мощности электроприемников СН

№	Наименование потребителей	Общая потребляемая мощность $P_{С.Н.}$ , кВт
1	Отопление	6
2	Освещение	1
3	Эксплуатационные, ремонтные нагрузки	20
	Итого	27 кВт
	С учетом коэффициента загрузки $k_z = 0,7$	
	Всего	18.9 кВт

На основании полученных данных таблица 6.1 для РП выбираем трансформатор собственных нужд мощностью ТСН–40 кВА.

## 7 Размещение и монтаж

Камеры КСО-298 предусмотрены для работы внутри закрытых помещений при следующих условиях:

- минимальное значение температуры воздуха не ниже  $-25^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальное значение температуры воздуха не выше  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- окружающая среда должна быть невзрывоопасная, не содержащая агрессивных паров, газов, разрушающих металлы и изоляцию. Также окружающая среда не должна содержать токопроводящую пыль;
- относительная влажность воздуха 98% при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$ ;

РУ КСО-298 представляет собой цельную конструкцию, которая выполнена из соединённых между собой камер. Каждая камера имеет заранее смонтированные аппараты, приборы автоматики, измерения, релейной защиты, автоматики и управления.

Поставляются КСО-298, либо разделёнными камерами, либо блоками до трех камер, в которых смонтированы соединения главных и вспомогательных цепей, с частями стыковки блоков и камер в распределительное устройство.

Все вводы и выводы выполнены кабельными. Фундамент для камер выполняется на одинаковом уровне. Камеры устанавливаются и привариваются через 4 отверстия на закладные элементы фундамента.

Кабельный ввод в камеру проходит через кабельные каналы, которые находятся снизу камеры. Данная конструкция рассчитана на подключение не более шести одножильных высоковольтных кабелей сечением до  $500\text{ мм}^2$  или трех трехжильных высоковольтных кабелей сечением  $240\text{ мм}^2$ .

Заземление осуществляется с помощью присоединения шин заземления к камере болтом заземления. Все металлические части находящегося внутри камеры оборудования и открытые для прикосновения металлические элементы имеют электрический контакт с металлокаркасами камер КСО при помощи зубчатых шайб или шинок заземления.

Данная камера выполнена из листовой панели, которая имеет толщину 2-3 мм. Все детали защищены от коррозии при помощи специального полимерного или гальванического покрытия. С лицевой части камеры имеются дверки для доступа к электрическим аппаратам размещённым внутри. На задней и верхней стенке ячейки располагаются линейные и шинные заземлители и разъединители.

КСО-298 выполнена из листовых панелей толщиной 2-3 мм, все детали защищены от коррозии гальваническим либо полимерным лакокрасочным покрытием. С фасада имеются дверки для доступа к оборудованию. Линейные и шинные заземлители и разъединители располагаются на верхней и задней стенке ячейки. На лицевой панели располагаются приводы этих аппаратов.

У каждого привода есть фиксированные положения включения и отключения. Все привода имеют возможность запирания их на навесной замок. Также предусмотрена установка электромагнитных замков блокировки. Блокировка приводов разъединителя механически связана с силовым валом выключателя, что полностью исключает работу с ножами заземлителей и разъединителей при включённом выключателе.

Доступ к сборным шинам осуществляется через защитную решетку. Шины находятся в верхней части камеры. Все шины располагаются вертикально, начиная с шины фазы С, находящееся ближе к передней стенке камеры, затем шины В и А.

Выключатель стационарно установлен в камере. Управление выключателем производится с лицевой стороны камеры. Чтобы добраться до блока управления, необходима, снять защитный кожух, который выступает из фасада камеры. Также в данной камере предусмотрено снятие блока выключателя, для отдельного ремонта в случае поломки. Чтобы осуществить ремонт выключателя необходимо открутить 12 болтов соединения шин и 4 болта крепления.

В камерах КСО-298 предусмотрены механические блокировки,

находящиеся в пределах одной камеры, которые в свою очередь не позволяют провести неверные действия такие как:

– включить или отключить разъединитель, в то время как выключатель находится в включённом положении;

– выключить или включить заземляющие ножи, в то время как включен разъединитель или выключатель .

Все отсеки камер КСО-298 имеют стационарное освещение.

## **7.1 Демонтаж**

Демонтаж существующих камер сборных одностороннего обслуживания серии КСО-272 по ТУ 36-1831-75 необходимо производить согласно СП 48.13330.2011 Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 и действующих норм по технике безопасности.

## **7.2 Защита строительных конструкций от коррозии**

Все металлические элементы должны быть огрунтованы грунтовкой "Ф-021 по ГОСТ 25129-82 и окрашены 2-мя слоями эмали ПФ-115 .

В монтажных стыках и узлах, а также в местах, где окраска повреждена, металлоконструкции после окончания работ должны быть очищены, огрунтованы и защищены от коррозии 2-мя слоями эмали ПФ-115.

При производстве работ руководствоваться требованиями: СП 28.13330.2012 Акт. редакция СНиП 3.04.03-85 "Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии";

ГОСТ 12.3.016-87 "Строительство. Работы антикоррозийные. Требования безопасности.

## 8 Релейная защита и автоматика

Релейная защита представляет собой группу объединённых автоматических устройств, которые предназначены для определения и отделения повреждённых элементов в случае аварии, от электроэнергетической системы. Целью релейной защиты (РЗ) является обеспечение нормальной работы всей системы. Релейная защита должна осуществлять постоянный контроль состояния всех элементов электроэнергетической системы и реагировать на все возникшие повреждения и ненормальные режимы. При обнаружении повреждений релейная защита должна определить поврежденный участок и отключить его от электроэнергетической системы.

В качестве релейной защиты РП-5 в каждую камеру КСО-298 устанавливается микропроцессорное устройство защиты «Сириус 21-С». Общий вид «Сириус 21-С» представлен на рисунке 8.1.



Рисунок 8.1 – Общий вид МПУ «Сириус 21-С»

Данное микропроцессорное устройство (МПУ) имеет возможность дистанционного отслеживания состояния защиты и дистанционное управление. МПУ «Сириус 21-С» имеет положительный опыт эксплуатации на других объектах ЗАО «КВАНТ». Также данное МПУ имеет относительно низкую стоимость, что является большим преимуществом при выборе микропроцессорного устройства релейной защиты.

МПУ «Сириус 21-С» имеет следующие функции защиты:

- логическую защиту шин;
- выдача сигнала пуска максимальной токовой защиты (МТЗ), для организации логической защит шин;
- трехступенчатую МТЗ от междуфазных повреждений, с возможностью контроля двух или трех фазных токов;
- защиту от обрыва фазы;
- автоматический ввод ускорения любых ступеней МТЗ при любом включении выключателя.

Функции автоматики МПУ «Сириус 21-С»:

- возможность подключения внешних защит;
- выполнение включения и отключения выключателя по внешним командам;
- формирование сигнала устройства резервирования при отказе своего выключателя;
- исполнение входного сигнала УРОВ при отказах нижестоящих выключателей.

Также МПУ «Сириус 21-С» имеет ряд дополнительных сервисных функций таких как:

- определение вида повреждения при срабатывании МТЗ;
- измерения времени срабатывания защиты и отключения выключателя;
- фиксацию токов в момент аварии;
- измерения текущих фазных токов;
- цифровой осциллограф и регистратор событий.

Данное устройство обеспечивает необходимые эксплуатационные возможности такие как:

- хранение и ввод уставок защит и автоматики;
- контроль положения выключателя, а также контроль состояния цепей управления;
- передачу параметров аварии, ввод и изменение уставок по линии связи;
- постоянный контроль работоспособности;
- при неисправности устройства обеспечение блокировки всех выходов, эта возможность служит для исключения ложных срабатываний;
- задание внутренней конфигурации;
- высокое сопротивление и прочность изоляции входов и выходов относительно корпуса и между собой;
- получение дискретных сигналов управления и блокировок, выдачу команд управления, аварийной и предупредительной сигнализации.

## 9 Заземление

Все металлические части электроустановок, не находящиеся под напряжением, должны заземляться.

Заземление служит для соединения с землей частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением. Для заземления могут быть использованы естественные заземлители представляющие собой металлические коммуникации проложенные под землей, металлические конструкции зданий, соединённых с землей, скважины и т.д. и искусственные заземлители представляющие собой стержни, выполненные из угловой стали или стальные трубы.

Т.к. вблизи РП-5 отсутствуют естественные заземлители, необходимо установить искусственные заземлители. В качестве искусственных заземлителей выбраны стальные уголки размером 50x50x5 мм, длиной  $l=3$  м. Предварительное количество стержней 14 шт. Уголки забиты по контуру РП. Расстояние между уголками  $a=4.5$  м. Глубина заложения горизонтального заземлителя  $t_0=0.7$  м. Грунт – песок с удельным сопротивлением  $\rho_{cp}=700$  Ом·м. Размер РП составляет 15x5 м. Климатическая зона I. На рисунке 9.1 представлен план заземляющего устройства.

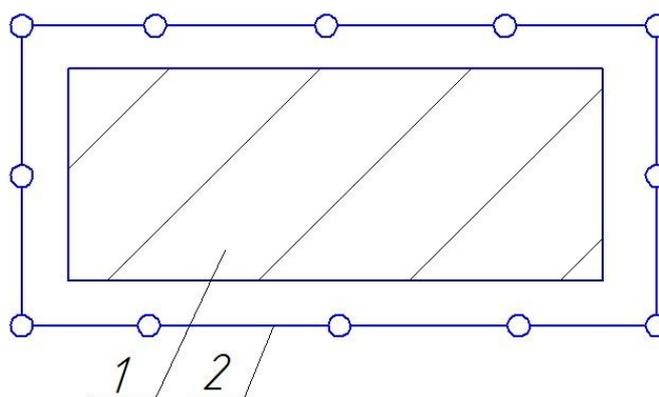


Рисунок 9.1 – План заземляющего устройства: 1 – площадь занятая оборудованием, 2 – заземляющий контур

Нормируемое сопротивление заземляющего устройства должно быть  $R_3=10$  Ом.

Определим допустимое сопротивление заземляющего устройства с учетом удельного сопротивления грунта:

$$R_3 = \frac{R_{zp}}{100} R_3, \quad (9.1)$$

$$R_3 = \frac{300}{100} \cdot 10 = 70 \text{ Ом.}$$

Далее определим сопротивления растеканию вертикального заземлителя:

$$R_g = \frac{0.366 \cdot \rho_{расч.г}}{l} \cdot \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t'+l}{4t'-l} \right), \quad (9.2)$$

$$R_g = \frac{0.366 \cdot 1400}{3} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 3}{0.95 \cdot 0.05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2.1 + 3}{4 \cdot 2.1 - 3} \right) = 439.96 \text{ Ом,}$$

где  $l=3$  м – длина вертикального заземлителя;

$d$  – диаметр стержневого заземлителя ( для уголка принимается  $d=0.95b$ ), м;

$$\rho_{расч.г} = k_c \cdot \rho_{zp}, \quad (9.3)$$

$$\rho_{расч.г} = 2 \cdot 700 = 1400 \text{ Ом} \cdot \text{м,}$$

$k_c=2$  – коэффициент сезонности принятый из [табл. 11.3, 5];

$$t' = t_0 + \frac{1}{2} l, \quad (9.4)$$

$$t' = 0.6 + 1.5 = 2.1 \text{ м,}$$

$t_0$  – глубина заложения вершины вертикального заземлителя, м.

Далее определяем количество вертикальных заземлителей:

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{\eta_{\text{в}} \cdot R_{\text{з}}}, \quad (9.5)$$

$$n_{\text{в}} = \frac{439.96}{0.5 \cdot 70} = 12.57 \text{ шт.},$$

где  $\eta_{\text{в}}=0.5$  – коэффициент использования вертикальных заземлителей, расположенных по контуру, определяется из [табл. 11.4б, 5]

За исходное количество вертикальных заземлителей принимается  $n_{\text{в}}=13$  шт.

Определяем длину горизонтального заземлителя:

$$l_{\text{г}} = a \cdot n_{\text{в}}, \quad (9.7)$$

$$l_{\text{г}} = 4.5 \cdot 13 = 58.5 \text{ м.}$$

Определяем сопротивления растеканию горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{г}} = \frac{0.366 \cdot \rho_{\text{расч.г}} \cdot \lg \frac{2l_{\text{г}}^2}{b \cdot t_0}}{l_{\text{г}}}, \quad (9.8)$$

$$R_{\text{г}} = \frac{0.366 \cdot 3150}{58.5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 58.5^2}{0.04 \cdot 0.5} = 109 \text{ Ом},$$

где  $\rho_{\text{расч.г}}$  определяется по формуле:

$$\rho_{\text{расч.г}} = k'_c \cdot \rho_{\text{зр}}, \quad (9.9)$$

$$\rho_{\text{расч.г}} = 4.5 \cdot 700 = 3150 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$k'_c = 4.5$  – коэффициент сезонности из [табл.11.3, 5]

Определяем действительное сопротивление растеканию горизонтального заземлителя с учетом:

$$R'_2 = \frac{R_2}{\eta_2}, \quad (9.10)$$

$$R'_2 = \frac{109}{0.32} = 340.62 \text{ Ом},$$

где  $\eta_2 = 0,32$  – коэффициент использования из [11.5б, 5]

Далее определяем сопротивления растеканию вертикальных заземлителей с учетом сопротивления горизонтального заземлителя:

$$R'_6 = \frac{R'_2 \cdot R_3}{R'_2 - R_3}, \quad (9.11)$$

$$R'_6 = \frac{340.62 \cdot 70}{340.62 - 70} = 88.1 \text{ Ом}.$$

Уточненное количество вертикальных заземлителей определяется по формуле:

$$n'_6 = \frac{R_6}{\eta_6 \cdot R'_6}, \quad (9.12)$$

$$n'_6 = \frac{439.46}{0.5 \cdot 88.1} = 9.97 \text{ шт.}$$

Окончательно принимаем к установке в заземляющем контуре 10 шт. вертикальных заземлителей.

## 10 Молниезащита

В качестве молниезащиты на крыше здания РП устанавливается молниезащитная сетка с размером ячеек 3х3 м. Данная сетка должна покрывать всю кровлю сооружения и быть уложена либо сверху кровли, либо под негорючие или трудногорючие утеплитель или гидроизоляцию и соединяется с заземлением. Использование молниезащитной сетки удовлетворяет условия всех нормативов установленных в известных документациях по молниезащите. На рисунке 6.1 представлено расположение молниезащитной сетки.

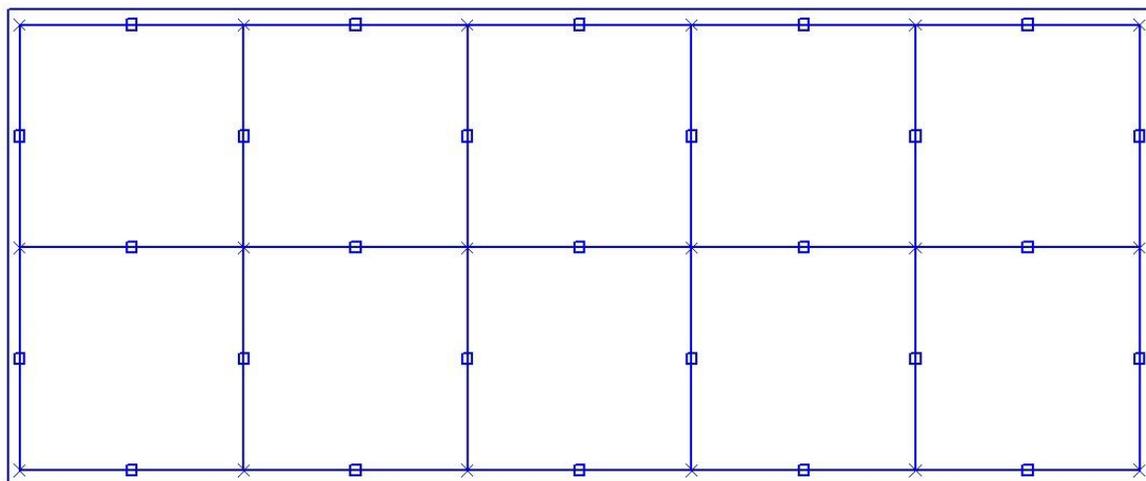


Рисунок 10.1 – Расположение молниезащитной сетки

## Заключение

В выпускной квалификационной работе произведены описания и расчеты для реконструкции РП-5. Представлены электрические нагрузки распределительного пункта и рассчитаны токи трёхфазного короткого замыкания, далее по ним выбрано оборудование РП: вакуумные выключатели марки ВВ/TEL, разъединители марки РВФз, приборы учёта и контроля на подстанции, трансформаторы тока типа ТПЛ, шины марки АД31Т и опорные изоляторы марки ИОЛ. Также произведен расчет освещения. Представлен расчет собственных нужд и выбор трансформатора собственных нужд. Представлен выбор микропроцессорных устройств релейной защиты. Произведен расчет заземления и молниезащиты. Описан процесс размещения и монтажа оборудования и токоведущих частей на РП-5.

Результат произведённой реконструкции РП - соответствует всем нормам и требованиям, и обеспечивает полную защиту от всех ненормальных режимов работы.

## Список использованных источников

- 1 Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для вузов / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005.
- 2 ГОСТ Р 52736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания [Текст]. –Внед. 2007-07-12. – М. : Филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики» - ВНИИЭ, МЭИ, 2007. – 44 с.
- 3 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0.-20.527-98 / под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
- 4 Степкина, Ю.В. Высоковольтное оборудования станций и подстанций: учеб. пособие/ Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. – ТГУ, 2006.
- 5 Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции : учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования / Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 124с.
- 6 Лыкин, А.В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин. – М.: Логос, 2006.
- 7 Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение учеб. пособие / Ю.Д. Сибикин. – М.: Директ-медиа, 2014.
- 8 Почаевец, В.С. Электрические подстанции / В.С. Почаевец. – М.: Изд-во УМЦ ЖДТ, 2012.
- 9 Маньков, В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения / В.Д. Маньков – С.: Прокниг, 2010.
- 10 Радкевич, В.Н. Проектирование систем электроснабжения / В.Н. Радкевич – М.: Пион, 2009
- 11 Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0.4-0.35 кВ и 110-1150 кВ: в 6-ти т. / Е.Ф. Макаров ; под ред.гл. специалистов ОАО «Мосэнерго». – М.: Энергия, 2006. – Т. 6.

- 12 Ополоева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум-Инфра-М, 2006.
- 13 Рекус, Г.Г. Электрооборудование станций и подстанций / Г.Г. Рекус. – М. : Высшая школа, 2014
- 14 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М.: Академия, 2014.
- 15 Крючкова, И.П. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие для вузов / И.П. Крючкова. – М.: Академия, 2015.
- 16 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л. Файбисович. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2015.
- 17 Степкина, Ю.В. Электропитающие системы и электрические сети : метод. указания / Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков. – Тольятти : ТГУ, 2006.
- 18 Гужов, Н.П. Системы электроснабжения / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.П. Павлюченко. – Р.: Феникс, 2011.
- 19 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6,7 изд. с изм. и доп. по сост. на 1 января 2010 г. – М.: Кнорус, 2010.
- 20 Ополяева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения / Г.Н. Ополяева – М.: ИНФРА-М, 2008.
- 21 Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок: учебное пособие/ В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти : ТГУ, 2008.
- 22 Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования/ В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти : ТГУ, 2007.
- 23 Edvard, C. Lighting Essentials You Can't Deny [Text] / C. Edvard // ER: Electrical Review.2015. <http://electrical-engineering-portal.com/3-lighting-essentials-you-cant-deny> -\_(дата обращения 22.02.16)
- 24 Edvard, C. How residual current device (RCD) works?[Text] / C. Edvard // ER: Electrical Review.2015. <http://electrical-engineering-portal.com/how-residual-current-device-rcd-works> -\_(дата обращения 25.02.16)

- 25 Edvard, C. Maintenance Of Low Voltage Circuit Breakers[Text] / C. Edvard // ER: Electrical Review.2015. <http://electrical-engineering-portal.com/maintenance-of-low-voltage-circuit-breakers> -\_(дата обращения 25.02.16)
- 26 Edvard, C. The Case Of Real Time Reactive Compensation[Text] / C. Edvard // ER: Electrical Review.2015. <http://electrical-engineering-portal.com/the-case-of-real-time-reactive-compensation> -\_(дата обращения 20.02.16)
- 27 Zobia, A. Energy Storage - Technologies. London, InTech publ., 2013. 328 p. DOI: 10.5772/2550