

# 1 ЭЛЕКРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Расчёт электрических нагрузок

Электротехнические нагрузки являются исходными данными для решения многих вопросов, возникающих при проектировании. Определение электрических нагрузок составляет первый этап проектирования любой системы электроснабжения, и производится с целью выбора и проверки токоведущих частей электрооборудования, трансформаторов, защитных устройств. От правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок зависит рациональность выбора схемы технико-экономических показателей.

Каждая отрасль промышленности имеет свои характерные типовые графики нагрузок, определяемые техническим процессом производства. Зная максимальную мощность отдельных потребителей, можно построить их суточные графики. Суммируя ординаты суточных графиков отдельных групп потребителей, получают график изменения активной мощности в течение суток. При передаче мощности существуют потери мощности в распределительных сетях всех напряжения.

### 1.1.1 Построение суточных графиков

Для определения нагрузок по часам суток пользуясь фактической нагрузкой на низком напряжении. Для удобства расчетов составляем таблицу часовых активных мощностей промышленных и коммунально-бытовых потребителей, зимний и летний графики (рисунок 2.1). Основным обычно является зимний суточный график. Данные свожу в таблицу 2.1

Изм.	Лист	№документа	Подпись	Дата
Разраб.		Иванов В.В		
Провер.		Толстой А.В.		
Рецензент		Гоголь В.А.		
Н. Контр.		Дунаев А.М.		
Утв.пред.				

ДП 13.03.02.15

ЭЛЕКРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Лист	Лист	Листов
	1	40
ЧПТК гр. Ээ-13		

Таблица 2.1 - Построение суточных графиков

Время	Нагрузка летнего дня	Нагрузка зимнего дня
0	2,66	6,59
1	2,11	5,25
2	1,86	5,73
3	1,83	4,76
4	1,77	5,79
5	1,96	7,01
6	2,66	6,53
7	3,05	6,83
8	3,58	6,77
9	3,75	7,26
10	4,02	6,40
11	4,37	6,46
12	4,18	6,40
13	3,99	5,67
14	3,93	6,71
15	3,86	5,85
16	3,94	7,20
17	4,01	6,46
18	4,22	7,44
19	4,11	5,85
20	4,23	6,40
21	4,61	6,77
22	4,37	6,53
23	3,47	5,12

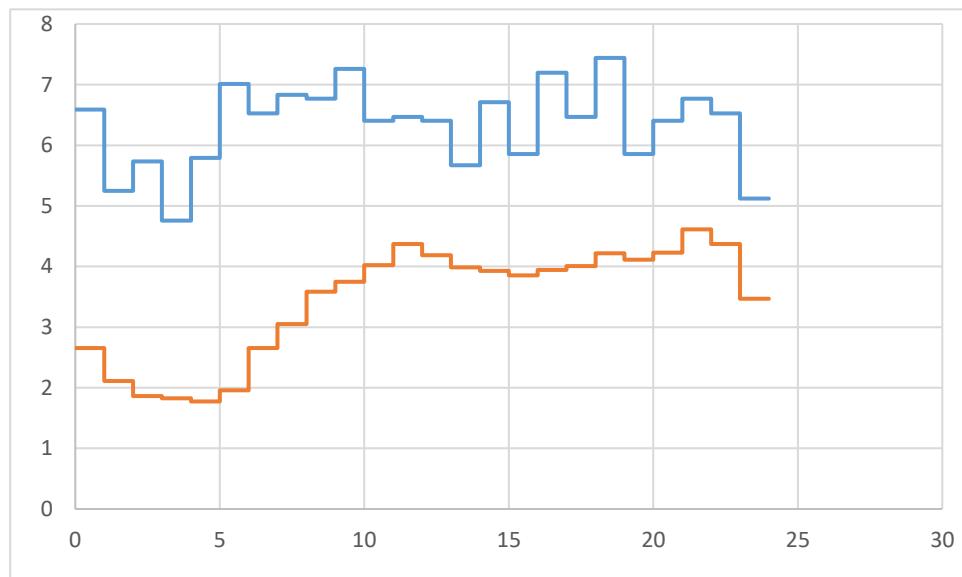


Рисунок 2.1. - Суточный график

### 1.1.2 Построение годового графика

Площадь ограничения кривой графика активной нагрузки численно равна энергии производственной или потребляемой электроустановки за рассматриваемый период.

Таблица 2.2 - Построение годового графика

P, МВт	Кол-во периодов	Продолжительность периода	W, МВт·ч
7,44	1	744	5535,36
6,49	1	672	4361,28
6,19	1	744	4605,36
5,96	1	720	4291,2
4,70	1	744	3496,8
2,35	1	720	1692
2,34	1	744	1740,96
2,37	1	744	1763,28
2,68	1	720	1929,6
5,55	1	744	4129,2
6,43	1	720	4629,6
7,42	1	744	5520,48
Итог			43695,1

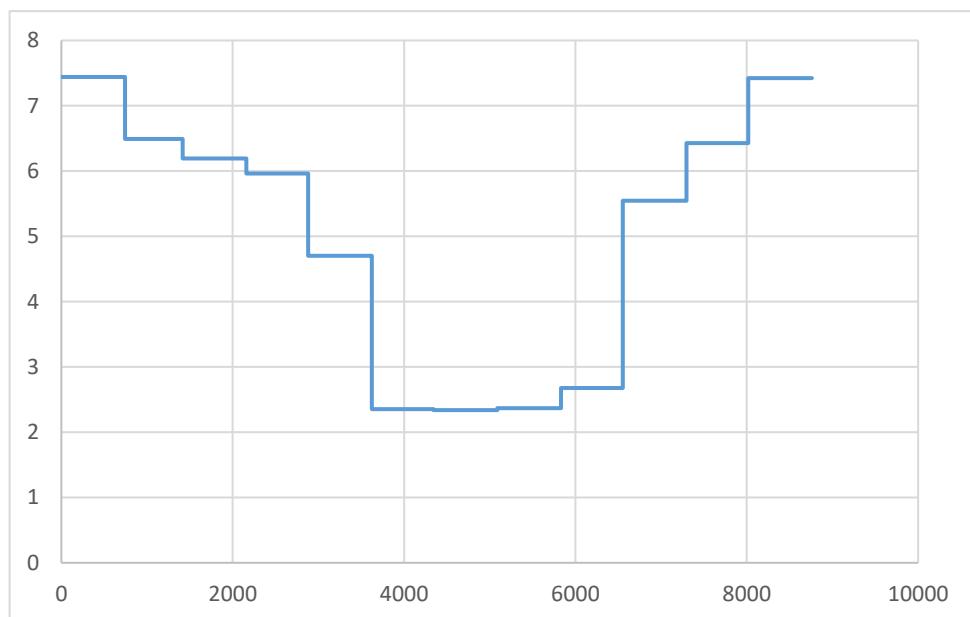


Рисунок 2.2. - Годовой график

### 1.2 Технико-экономические показатели

1. Определяем годовое потребление электроэнергии «стр.15 (1.4) гл.1.2.» [5]:

$$W_{\text{н}} = \sum P_i \cdot T_i, \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист 3
------	------	---------	---------	------	----------------	-----------

где  $P_i$  – мощность  $i$  ступени, МВт;

$T_i$  – продолжительность ступени, ч.

$$W_n = 16016,84 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

2. Определяем среднюю нагрузку за год «стр.15 (1.5) гл. 1.2.» [5]:

$$P_{cp} = \frac{W_n}{8760}, \text{ МВт}$$

где  $W_n$  – годовое потребление электроэнергии, МВт · ч;

8760-число часов в году.

$$P_{cp} = \frac{43695,1}{8760} = 4,99 \text{ МВт}$$

3. Определяем коэффициент заполнения графика «стр.16 (1.6) гл1.2.» [5]:

$$K_3 = \frac{P_{cp}}{P_{max}}, \text{ МВ·ч}$$

где  $P_{max}$  – максимальная мощность, МВт.

$$K_3 = \frac{4,99}{7,44} = 0,67 \text{ МВ·ч}$$

Определяем сколько часов за год установка работает с неизменной максимальной нагрузкой «стр.15 (1.7) гл. 1.2.» [5]:

$$T_{max} = \frac{P_{cp} \cdot T}{P_{max}}, \text{ ч}$$

где  $P_{max}$  – максимальная мощность, МВт;

$P_{cp}$  – средняя нагрузка за год, МВт .

$$T_{max} = \frac{4,99 \cdot 8760}{7,44} = 5873 \text{ ч}$$

### 1.3 Выбор силовых трансформаторов

Количество трансформаторов на подстанции и их мощность должны удовлетворять условное обеспечение:

обеспечение надежности электроснабжение потребителей

минимальными капитальными затратами

наиболее экономичному режиму загрузки трансформатора

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

4

От проектируемой подстанции питаются потребители первой, второй и третьей категории, поэтому предлагаем оставить два силовых трансформатора.

В нормальном режиме нормами технологического проектирования подстанции рекомендуется загрузка трансформатора на 50%. В аварийном режиме допускается перегрузка до 105%.

1. Определяем полную расчетную мощность:

$$S_{\max} = \frac{P_{\max}}{\cos \varphi}, \text{ МВА}$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, МВт;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

$$S_{\max} = \frac{7,44}{0,95} = 8,18 \text{ МВА}$$

2. Определяем номинальную мощность трансформатора «стр.326 гл.5.1» [5]:

$$S_{\text{mp}} \geq \frac{S_{\max}}{1,05 \cdot (n - 1)}, \text{ МВА}$$

где  $S_{\max}$  – полная расчетная мощность, МВА;

$n$  – количество трансформаторов;

$S_{\text{mp}}$  – желаемая мощность трансформатора, МВА.

$$S_{\text{mp}} \geq \frac{8,18}{(2 - 1) \cdot 1,05} = 7,79 \text{ МВА}$$

Предлагаем оставить установленные на подстанции трехфазные трехобмоточные трансформаторы, с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН), с системой охлаждения вида Д предназначены для работы в открытых электроустановках ТДТН-10000/110/35/6, так как они удовлетворяют всем требованиям.

3. Определяем загрузку трансформаторов в нормальном режиме:

$$\beta_n = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{\text{ном}}}, \text{ МВА}$$

где  $S_{\text{ном}}$  – мощность выбранного трансформатора, МВА.

$$\beta_n = \frac{8,18}{2 \cdot 10} = 0,41, \text{ МВА}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

$$\beta_H \leq 0,5$$

$$0,41 \leq 0,5$$

4. Определяем загрузку трансформаторов в аварийном режиме:

$$\beta_a = \frac{S_{\max}}{(n - 1)S_{\text{ном}}}, \text{ МВА}$$

$$\beta_a = \frac{8,18}{(2 - 1)10} = 0,82 \text{ МВА}$$

$$\beta_a \leq 1,05$$

$$0,82 \leq 1,05$$

Окончательно предлагаем оставить на подстанцию существующие трансформаторы марки ТДТН- 10000/110, данные заносим в таблицу «согласно таблицы 5.18» [9].

Т-трансформатор трехфазный;

Д-принудительной циркуляцией воздуха и естественная циркуляция масла;

Т-трехобмоточный

Н-регулирование напряжения под нагрузкой на стороне ВН;

10000-номинальная мощность, кВА

110-класс напряжения.

Таблица 2.3 - Технические данные трансформатора

Тип	$S_{\text{ном}},$ МВ- А	Каталожные данные								
		$U_{\text{ном}}$ , обмоток, кВ			$U_k, \%$			$\Delta P_k,$ кВт	$\Delta P_x, \text{ кВт}$	$I_x, \%$
		ВН	сн	НН	B-C	B-H	C-H			
ТДТН- 10000/110	10	115	35	6,6	10,5	17	6	76	17	1,1

#### 1.4 Выбор главной схемы подстанции

Проектируемая подстанция имеет два силовых трансформатора и три распределительных устройства: 110кВ и 6 кВ и 35 кВ

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						6

Структурная схема: схема распределительного устройства выбирается в зависимости от величины напряжения и количества присоединений в соответствии с нормами технологического проектирования подстанций.

Со стороны высокого напряжения 110 кВ предлагаем оставить без изменение схему - Одна рабочая, секционированная выключателем, и обходная система шин.

Со стороны 35 кВ предлагаем оставить схему одна рабочая, секционированная выключателем система шин.

Со стороны 6 кВ предлагаем оставить схему так же без изменений 10(6)-1.

## 1.5 Расчёт токов короткого замыкания

Для проверки электрооборудования и токоведущих частей проектируемой подстанции, на термическую и электродинамическую стойкость, производим расчет токов короткого замыкания. Проектируемая подстанция имеет напряжение 110, 35, 6 кВ, В расчетную схему вносим все элементы, по которым протекает ток короткого замыкания

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

Лист

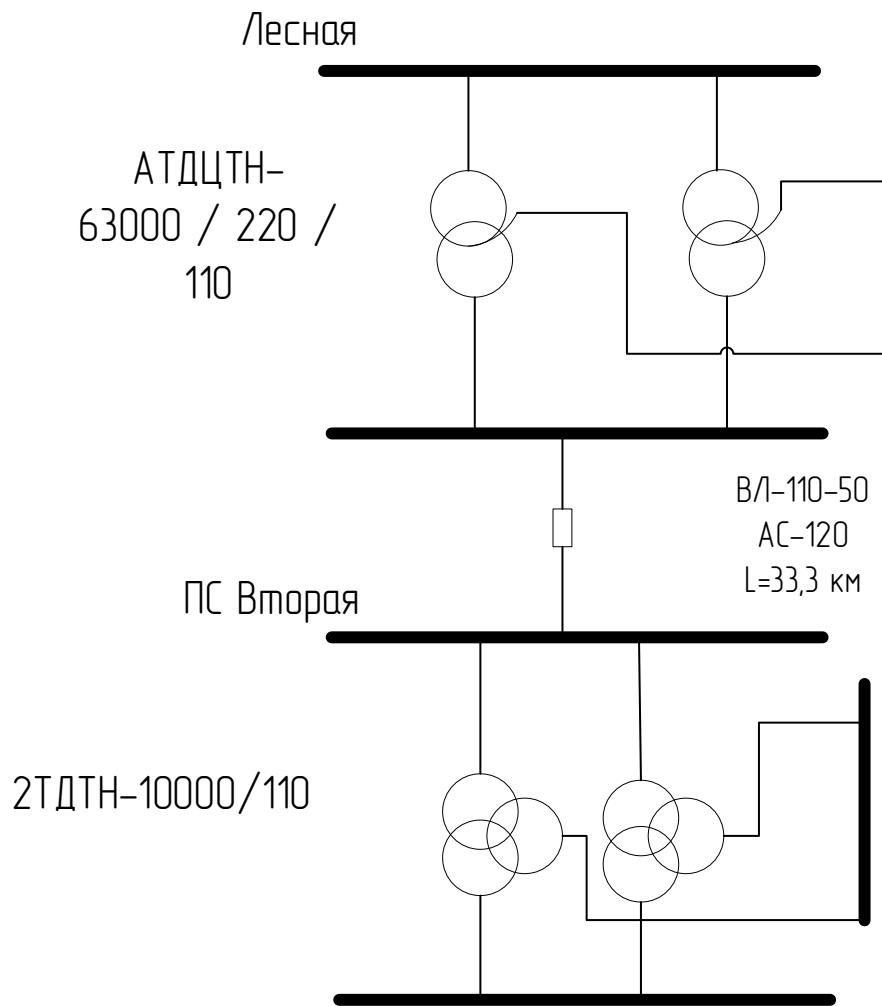


Рисунок 2.3. - расчетная схема токов короткого замыкания.

Намечаем точки короткого замыкания. Точку К1 намечаем на линии 110 кВ, так как там установлено электрооборудование, которое необходимо проверить на действие токов короткого замыкания.

Точку К2 намечаем на линии 6 кВ, поскольку там установлено электрооборудование, которое необходимо проверить на действие токов короткого замыкания.

Точку К3 намечаем на линии 35 кВ, поскольку там установлено электрооборудование, которое необходимо проверить на действие токов короткого замыкания. Задаем базисную мощность – 100 МВА

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

Составляем схему замещения.

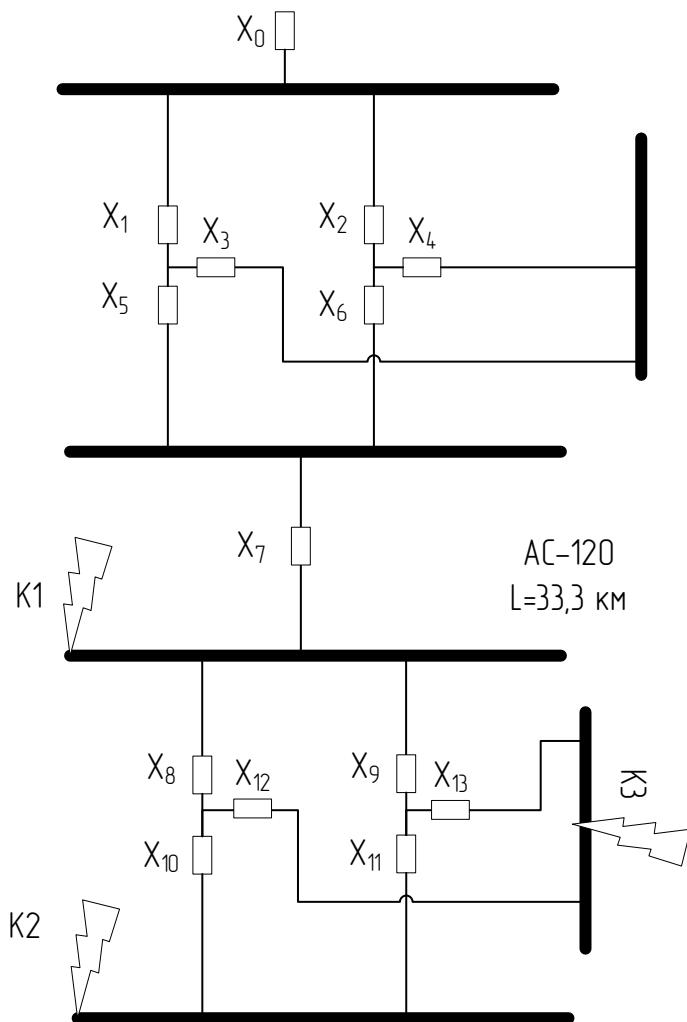


Рисунок 2.4. - схема замещения

Для трехобмоточных трансформаторов необходимо определить напряжение короткого замыкания каждой обмотки «согласно таблице 5.19» [9]:

$$U_{kB} = 0,5(U_{kB-C} + U_{kB-H} - U_{kC-H}), \%$$

$$U_{kC} = 0,5(U_{kB-C} + U_{kC-H} - U_{kB-H}), \%$$

$$U_{kH} = 0,5(U_{kB-H} + U_{kC-H} - U_{kB-C}), \%$$

Для АТДЦН-63000 / 220 / 110:

$$U_{kB\%} = 0,5(11 + 35 - 22) = 24\%$$

$$U_{kC\%} = 0,5(11 + 22 - 35) = -2\%$$

$$U_{kH\%} = 0,5(35 + 22 - 11) = 46\%$$

Для ТДТН-10000/110:

$$U_{kB\%} = 0,5(10,5 + 17 - 6) = 21,5\%$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

$$U_{KC\%} = 0,5(10,5 + 6 - 17) = -0,5\%$$

$$U_{KH\%} = 0,5(17 + 6 - 10,5) = 12,5 \%$$

4. Определяем сопротивления элементов:

Для трехобмоточных трансформаторов

$$X_{бт} = \frac{U_{KB\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} = \text{от. ед}$$

$$X1 = X2 = \frac{11}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,38 \text{ от. ед.}$$

$$X3 = X4 = \frac{-2}{100} \cdot \frac{100}{63} = -0,03 \text{ принимаем за } 0$$

$$X5 = X6 = \frac{46}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,73 \text{ от. ед}$$

$$X8 = X9 = \frac{21,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 2,15 \text{ от. ед.}$$

$$X12 = X13 = \frac{-0,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = -0,05 \text{ принимаем за } 0$$

$$X10 = X11 = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1,25 \text{ от. ед}$$

Для линии

$$x_{бл} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = \text{от. ед.}$$

$$X9 = X8 = 0,4 \cdot 33,3 \cdot \frac{100}{115_{cp}^2} = 0,1 \text{ от. ед}$$

Расчет сопротивлений короткого замыкания:

Изм.	Лист	Нр.докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

10

5.1 Расчет для точки K1:

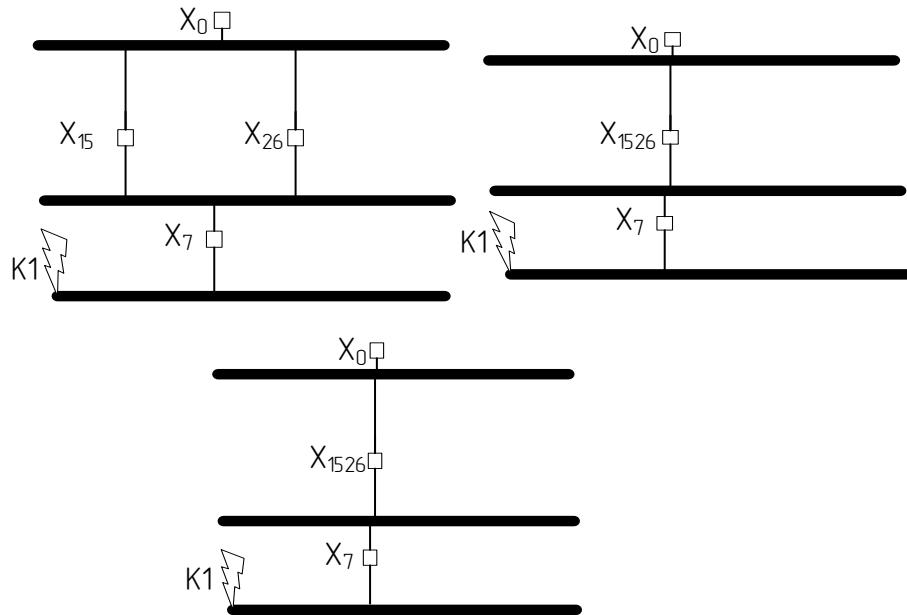


Рисунок 2.5. - сворачивания сопротивлений до точки K31

$$X_{1526} = \frac{(X_1 + X_5) \cdot (X_2 + X_6)}{(X_1 + X_5) + (X_2 + X_6)} \text{ от. ед}$$

$$X_{1526} = \frac{(0,38 + 0,73) \cdot (0,38 + 0,73)}{(0,38 + 0,73) + (0,38 + 0,73)} = 0,55 \text{ от. ед}$$

$$X_{K1} = X_{1526} + X_7 \text{ от. ед}$$

$$X_{K1} = 0,55 + 0,1 = 0,65 \text{ от. ед}$$

5.2. Расчет для точки K2:

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

Лист

11

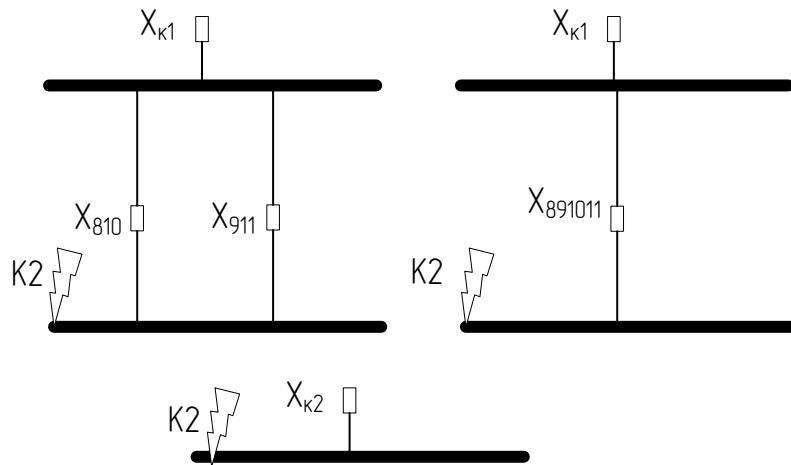


Рисунок 2.6. - сворачивания сопротивлений до точки К32

$$X_{891011} = \frac{(X_{10} + X_8) \cdot (X_9 + X_{11})}{(X_{10} + X_8) + (X_9 + X_{11})} \text{ от. ед.}$$

$$X_{891011} = \frac{(2,15 + 1,25) \cdot (2,15 + 1,25)}{(2,15 + 1,25) + (2,15 + 1,25)} = 1,7 \text{ от. ед}$$

$$X_{k2} = X_{k1} + X_{891011} \text{ от. ед}$$

$$X_{k2} = 0,65 + 1,7 = 2,35 \text{ от. ед}$$

Расчет для точки К3:

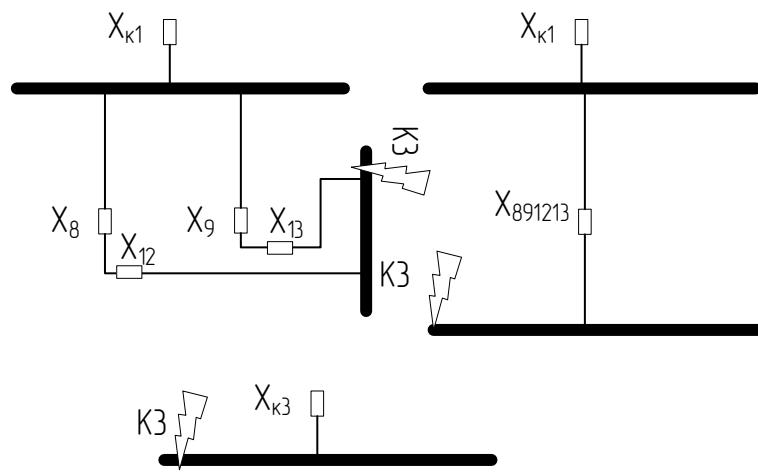


Рисунок 2.1. - сворачивания сопротивлений до точки К33

$$X_{891213} = \frac{(X_8 + X_{12}) \cdot (X_9 + X_{13})}{(X_8 + X_{12}) + (X_9 + X_{13})} \text{ от. ед.}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

$$X_{891011} = \frac{(2,15 + 0) \cdot (2,15 + 0)}{(2,15 + 0) + (2,15 + 0)} = 1,075 \text{ от. ед}$$

$$X_{K3} = X_{K1} + X_{891011} \text{ от. ед}$$

$$X_{K3} = 0,65 + 1,075 = 1,72 \text{ от. ед}$$

Определяем базисный ток по формуле [2, стр.137]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \text{ кА}$$

где  $S_6$  – базисная мощность, МВА,

$U_{cp}$  – базисное напряжение ступени КЗ, кВ.

Для точки  $K_1$

$$I_{61} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}$$

Для точки  $K_2$

$$I_{62} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} = 9,62 \text{ кА}$$

Для точки  $K_3$

$$I_{63} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,65 \text{ кА}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке КЗ [2, стр.138]

$$I_k = \frac{I_6}{x_{рез}}, \text{ кА}$$

Для точки  $K_1$

$$I_{k1} = \frac{0,5}{0,65} = 0,77 \text{ кА}$$

Для точки  $K_2$

$$I_{k2} = \frac{9,62}{2,35} = 4,1 \text{ кА}$$

Для точки  $K_3$

$$I_{k3} = \frac{1,65}{1,72} = 0,96 \text{ кА}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

13

Определяем ударный ток [2, стр.137]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot k_{уд}, \text{kA}$$

где  $k=1.8$  – ударный коэффициент при расчете токов КЗ на шинах подстанций [2, таблица 3.8, стр.150]

Для точки  $K_1$

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 0,77 \cdot 1,8 = 1,96 \text{ kA}$$

Для точки  $K_2$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 4,1 \cdot 1,8 = 10,4 \text{ kA}$$

Для точки  $K_3$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 0,96 \cdot 1,8 = 2,44 \text{ kA}$$

Данные расчётов тока КЗ сводим в таблицу.

Таблица 2.4 - Результаты расчётов тока короткого замыкания

Точка КЗ	$U_{ср}$ , кВ	Источники	$I_k$ , кА	$i_{уд}$ , кА
$K_1$	115	система	0,77	1,96
$K_2$	6	система	4,1	10,4
$K_3$	35	система	0,96	2,44

## 1.6 Выбор электрооборудования подстанции

### 1.6.1 Выбор выключателей и разъединителей 110кВ

Для установки электрооборудования подстанции выбираем выключатели и разъединители.

Выключатель напряжением выше 1 кВ – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения тока в любом режиме работы, в нормальном режиме тока перегрузки и тока короткого замыкания.

Выбор выключателя:

Со стороны высокого напряжения 110кВ взамен масляных выключателей предлагаем установить элегазовые выключатели ВТБ-110 «Доп.ист.»[10]:

$U_{ном}=110 \text{ кВ}$ ,

$I_{ном}=2000\text{A}$ ,

$I_{отк.ном}=40\text{kA}$ ,

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

14

$I_{дин} = 102 \text{ кА}$

$I_{тер} = 40 \text{ кА}$

Выбор выключателя производим в следующем порядке:

по месту установки : наружные

по напряжению:

$$U_{уст} = U_{вн}$$

$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$$

по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{выкл}$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ}$$

по номинальному току «стр.171 (4.8) гл. 4.1.» [5]:

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}$$

где  $I_{max}$  – расчетный ток , А;

$I_{ном}$  – Номинальный ток , А.

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 70,3 \text{ А}$$

Сравним полученные данные с номинальным током «стр.177 (4.14)» [5]:

$$I_{max} \leq I_{ном}$$

$$70,3 \text{ А} \leq 2000 \text{ А}$$

по отключающей способности «стр.268 гл 4.6. Рожкова» [5]:

$$I_k \leq I_{откл}$$

$$0,77 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}$$

где  $I_k$ -ток короткого замыкания,кА;

$I_{откл}$ -ток отключения аппарата,кА.

Проверка на электродинамическую стойкость «стр.268 гл 4.6. Рожкова» [5]:

$$I_y \leq I_{дин}$$

$$1,96 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА}$$

где  $I_y$ -ударный ток,кА;

$I_{дин}$ -динамический ток ,кА.

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						15

Проверка на термическую стойкость«стр.140 (3.47) гл. 3.7. Рожкова [5]:

$$B_k \leq I_{ter}^2 \cdot t_{ter}$$

где  $I_{ter}$ -ток термической стойкости ,кА;

$t_{ter}$ -время протекания тока термической стойкости ,с.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_0 + T_a), \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_k = 0,77^2 \cdot (3 + 0,035) = 1,8 \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_{kter} = I_{ter}^2 \cdot t_{ter} \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_k = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кA}^2\text{с}$$

$$1,8 \text{ кA}^2\text{с} \leq 4800 \text{ кA}^2\text{с}$$

Выключатель прошел все заданные проверки.

Окончательно предлагаем установить элегазовый выключатель ВТБ-110 в цепи силового трансформатора.

Расшифровка ВТБ-110:

В-выключатель элегазовый;

Т-условное обозначение конструктивного исполнения;

Б-баковый;

110-номинальное напряжение.

Выбор разъединителя :

На ОРУ-110 взамен устаревших разъединителей марки РЛНД-110 предлагаем установить разъединители с электродвигательным приводом главных и заземляющих ножей марки РГ-110 для наружной установки «Доп.ист.»[10].

$$U_{nom}=110\text{kV},$$

$$I_{nom}=1000\text{A},$$

$$I_{din}=80\text{kA}$$

$$I_{ter}=31,5\text{kA}$$

Выбор разъединителя производим в следующем порядке:

по месту установки : наружные

по напряжению:

$$U_{yst} = U_{vn}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

16

$$110\text{kV} = 110\text{kV}$$

по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{выкл}$$

$$110\text{kV} \leq 110\text{kV}$$

по номинальному току:

$$I_{max} \leq I_{ном}$$

$$70,3 \text{ A} \leq 1000\text{A}$$

Проверка на электродинамическую стойкость:

$$I_y \leq I_{дин}$$

$$1,96 \text{ kA} \leq 80\text{kA}$$

Проверка на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$$

$$B_{ктер} = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ kA}^2\text{c}$$

$$B_k = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,75 \text{ kA}^2\text{c}$$

$$1,8 \text{ kA}^2\text{c} \leq 2976,75 \text{ kA}^2\text{c}$$

Разъединитель проходит по всем выполненным проверкам .

Окончательно предлагаем установить на ОРУ-110 разъединители марки РГ-110.

Расшифровка РГ-110:

Р-разъединитель;

Г-горизонтально-поворотный тип;

110-номинальное напряжение,кВ.

Таблица 2.5 - Технические характеристики выключателя и разъединителя на 110кВ

Расчетные данные	Паспортные данные	
	Выключатель	Разъединитель
110кВ	Uном=110кВ	Uном=110кВ
70,3 А	Iном=2000А	Iном=1000А

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

17

1,96 кА	Iдин=102кА	Iдин=80кА
1,8 кА <sup>2</sup> с	B <sub>k</sub> = 4800кА <sup>2</sup> с	B <sub>k</sub> = 2976,75кА <sup>2</sup> с

### 1.6.2 Выбор выключателей и разъединителей 35 кВ

Выбор выключателя:

Со стороны среднего напряжения 35 кВ взамен ВМ-35 кВ предлагаем установить элегазовые выключатели ВГБ-35 «Доп.ист.»[10]:

$$U_{\text{ном}}=35 \text{ кВ},$$

$$I_{\text{ном}}=1000 \text{ А},$$

$$I_{\text{отк.ном}}=12,5 \text{ кА},$$

$$I_{\text{дин}}=35 \text{ кА}$$

$$I_{\text{тер}}=12,5 \text{ кА}$$

Выбор выключателя производим в следующем порядке:

по месту установки : наружные

по напряжению:

$$U_{\text{уст}} = U_{\text{вн}}$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$$

по номинальному напряжению:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{выкл}}$$

$$35 \text{ кВ} \leq 35 \text{ кВ}$$

по номинальному току «стр.171 (4.8) гл. 4.1.» [5]:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{А}$$

где  $I_{\max}$  – расчетный ток , А;

$I_{\text{ном}}$  – Номинальный ток , А.

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 230,9 \text{ А}$$

Сравним полученные данные с номинальным током «стр.177 (4.14)» [5]:

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}}$$

$$230,9 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

по отключающей способности «стр.268 гл 4.6. Рожкова» [5]:

$$I_k \leq I_{откл}$$

$$0,96 \text{ кA} \leq 12,5 \text{ кA}$$

где  $I_k$ -ток короткого замыкания,кA;

$I_{откл}$ -ток отключения аппарата,кA.

Проверка на электродинамическую стойкость «стр.268 гл 4.6. Рожкова» [5]:

$$I_y \leq I_{дин}$$

$$2,44 \text{ кA} \leq 35 \text{ кA}$$

где  $I_y$ -ударный ток,кA;

$I_{дин}$ -динамический ток ,кA.

Проверка на термическую стойкость«стр.140 (3.47) гл. 3.7. Рожкова [5]:

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$$

где  $I_{тер}$ -ток термической стойкости ,кA;

$t_{тер}$ -время протекания тока термической стойкости ,с.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_0 + T_a), \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_k = 0,96^2 \cdot (3 + 0,035) = 2,8 \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_{ктер} = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_k = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кA}^2\text{с}$$

$$2,8 \text{ кA}^2\text{с} \leq 468,75 \text{ кA}^2\text{с}$$

Выключатель прошел все заданные проверки.

Окончательно предлагаем установить элегазовый выключатель ВГБ-35 в цепи силового трансформатора.

Расшифровка ВГБ-35:

ВГ - выключатель элегазовый;

Б - условное обозначение конструктивного исполнения (баковый);

35-номинальное напряжение.

Выбор разъединителя :

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

19

На ОРУ-35 взамен устаревших разъединителей марки РЛНД-35 предлагаем установить разъединители с электродвигательным приводом главных и заземляющих ножей марки РГ-35 для наружной установки «Доп.ист.»[10].

$$U_{\text{ном}}=35 \text{ кВ},$$

$$I_{\text{ном}}=1000 \text{ А},$$

$$I_{\text{дин}}=80 \text{ кА}$$

$$I_{\text{тер}}=31,5 \text{ кА}$$

Выбор разъединителя производим в следующем порядке:

по месту установки : наружные

по напряжению:

$$U_{\text{уст}} = U_{\text{вн}}$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$$

по номинальному напряжению:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{выкл}}$$

$$35 \text{ кВ} \leq 35 \text{ кВ}$$

по номинальному току:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$230,9 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}$$

Проверка на электродинамическую стойкость:

$$I_y \leq I_{\text{дин}}$$

$$2,44 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА}$$

Проверка на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$$

$$B_{k\text{тер}} = I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \text{ кА}^2 \text{ с}$$

$$B_k = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,75 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

$$2,8 \text{ кА}^2 \text{ с} \leq 2976,75 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Разъединитель проходит по всем выполненным проверкам .

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

20

Окончательно предлагаем установить на ОРУ-110 разъединители марки РГ-35.

Расшифровка РГ-110:

Р-разъединитель;

Г-горизонтально-поворотный тип;

35-номинальное напряжение, кВ.

### **1.6.3 Выбор электрооборудования РУ низкого напряжения 6 кВ**

Выбор выключателя:

На проектируемой подстанции со стороны РУ расположен КРУН серии 47 предлагаем заменить масляные выключатели ВМП-113-630 на ваккумные выключатели на выкатном элементе BB/TEL ISM15\_Shell\_2

Технические характеристики КРУН серии К47:

$U_{\text{ном}}=10\text{kV}$ ,

$I_{\text{ном}}=1600\text{A}$ ,

$I_{\text{отк.ном}}=31,5\text{kA}$ ,

$I_{\text{дин}}=81\text{kA}$

$I_{\text{тер}}=31,5\text{kA}$

КРУН – это устройство, состоящее из шкафов со встроенными в них измерительными аппаратами, защитными приборами и вспомогательными устройствами.

Достоинства: применение КРУН ускоряет монтаж; он безопасен в обслуживании, так как все части закрыты кожухами; в качестве изоляции между токоведущими частями может быть воздух, масло и твердая изоляция. КРУН с завода, полностью собранные, поступают на место монтажа, где их устанавливают, соединяют сборные шины на стыках шкафов, подводят силовые и контрольные кабели.

Проверяем выключатель по следующим условиям:

$U_{\text{ном}}=10\text{kV}$ ,

$I_{\text{ном}}=1600\text{A}$ ,

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

Лист

21

$I_{отк,ном}=31,5\text{кA}$ ,

$I_{дин}=80\text{kA}$

$I_{тер}= 31,5\text{kA}$

Выбор выключателя производим в следующем порядке:

по месту установки : внутренние

по напряжению:

$$U_{уст} = U_{вн}$$

$$6\text{kV} = 6 \text{ кВ}$$

по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{выкл}$$

$$6\text{kV} \leq 10\text{kV}$$

по номинальному току «стр.171 (4.8) гл. 4.1.» [5]:

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{A}$$

где  $I_{max}$  – расчетный ток , А;

$I_{ном}$  – Номинальный ток , А.

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1347 \text{ A}$$

Сравним полученные данные с номинальным током «стр.177 (4.14)» [5]:

$$I_{max} \leq I_{ном}$$

$$1347 \text{ A} \leq 1600 \text{ A}$$

по отключающей способности «стр.268 гл 4.6. Рожкова» [5]:

$$I_k \leq I_{откл}$$

$$4,1 \text{ kA} \leq 31,5 \text{ kA}$$

где  $I_k$ -ток короткого замыкания,кА;

$I_{откл}$ -ток отключения аппарата,кА.

Проверка на электродинамическую стойкость «стр.268 гл 4.6. Рожкова» [5]:

$$I_y \leq I_{дин}$$

$$10,4 \text{ kA} \leq 80 \text{ kA}$$

где  $I_y$ -ударный ток,кА;

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

22

$I_{дин}$ -динамический ток ,кА.

Проверка на термическую стойкость«стр.140 (3.47) гл. 3.7. Рожкова [5]:

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$$

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

$t_{тер}$ -время протекания тока термической стойкости ,с.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_0 + T_a), \text{ кA}^2\text{c}$$

$$B_k = 4,1^2 \cdot (3 + 0,035) = 50,46 \text{ кA}^2\text{c}$$

$$B_{ктер} = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ кA}^2\text{c}$$

$$B_k = 31,5^2 \cdot 3 = 2976 \text{ кA}^2\text{c}$$

$$50,46 \text{ кA}^2\text{c} \leq 2976 \text{ кA}^2\text{c}$$

Выключатель прошел все заданные проверки.

Окончательно предлагаем установить вакуумные выключатели ВВ/TEL ISM15\_Shell\_2 в цепи силового трансформатора

## 1.7 Выбор токоведущих частей.

### 1.7.1 Распределительного устройства 110 кВ

В качестве ошиновки в цепи силового трансформатора на стороне среднего напряжения предлагаем использовать гибкие сталеалюминевые провода марки АС. Выбираем сечение проводов в цепи силового трансформатора по следующим условиям:

По нагреву длительным током:

$$I_{доп} \geq I_{max},$$

где  $I_{max}$ -расчётный максимальный ток послеаварийного режима А;

$I_{доп}$  – допустимый длительный ток для провода, А

$$I_{max} = 1,4 \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, A$$

$$I_{max} = 1,4 \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 70,3 A$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение, оно равно АС-95,  $I_{доп}=330$  А

$$330 A \geq 70,3 A$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

23

Проверяем на термическую стойкость по минимальному сечению:

$$S_{\min} \leq S_{\text{расч}}$$

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_0 + T_a), \text{kA}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_k = 0,77^2 \cdot (3 + 0,1) = 1,8 \text{ кA}^2 \text{с}$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \text{мм}^2$$

$$C = 91 \text{ A} \cdot \text{с}/\text{мм}^2$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{1,8 \cdot 10^3}}{91} = 0,46 \text{ мм}^2$$

$$0,46 \text{ мм}^2 \leq 50 \text{ мм}^2$$

### 1.7.2 Распределительного устройства 35 кВ

В качестве ошиновки в цепи силового трансформатора на стороне среднего напряжения предлагаем использовать гибкие сталеалюминевые провода марки АС. Выбираем сечение проводов в цепи силового трансформатора по следующим условиям:

По нагреву длительным током:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}},$$

где  $I_{\text{max}}$  – расчётный максимальный ток послеаварийного режима А;

$I_{\text{доп}}$  – допустимый длительный ток для провода, А

$$I_{\text{max}} = 1,4 \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{cp}}}, \text{А}$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 230,9 \text{ А}$$

Выбираем ближайшее стандартное сечение, оно равно АС-70,  $I_{\text{доп}}=265$  А

$$265 \text{ А} \geq 230,9 \text{ А}$$

Проверяем на термическую стойкость по минимальному сечению:

$$S_{\min} \leq S_{\text{расч}}$$

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_0 + T_a), \text{kA}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_k = 0,96^2 \cdot (3 + 0,1) = 2,8 \text{ кA}^2 \text{с}$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \text{мм}^2$$

$$C = 91 \text{ А} \cdot \text{с}/\text{мм}^2$$

$$S_{min} = \frac{\sqrt{2,8 \cdot 10^3}}{91} = 0,018 \text{ мм}^2$$

$$0,018 \text{ мм}^2 \leq 50 \text{ мм}^2$$

### 1.7.3 Выбор токоведущих частей на низкой стороне 6 кВ

В качестве ошиновки силового в цепи силового трансформатора на стороне низкого напряжения предлагаем использовать жесткую медную ошиновку прямоугольного сечения поскольку из-за больших токов невозможно подобрать сечение для сталеалюминиевого провода.

определяем ток нормального режима:

$$I_{норм} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}, \text{А}$$

$$I_{норм} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1347,1 \text{ А}$$

по нагреву длительным током:

$$I_{доп} \geq I_{max}$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot I_{норм}, \text{А}$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot 1347,1 = 1886$$

Выбираем шины с сечением 100x8  $\text{мм}^2$  с максимально допустимым током 1810 А «стр.181 (4.14)» [5]

$$2080 \text{ А} \geq 1886 \text{ А}$$

Окончательно в качестве ошиновки в цепи силового трансформатора со стороны высокого напряжения выбираем медные шины прямоугольного сечения 100x8

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

## 1.8 Система измерений на подстанции

Таблица 2.6 - Система измерений

№ п/п	Цепь	Место установки приборов	Перечень приборов
1	Линии 6 — 10 кВ к потребителям	—	Амперметр, расчетные счетчики активной реактивной энергии для линий
2	Линии 110-220 кВ		Амперметр, ваттметр, варметр, фиксирующий прибор, используемый для определения места КЗ, расчетные счетчики активной и реактивной энергии
3	Сборных шинах 6, 10, 35кВ	на каждой секции шин	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения и вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений
4	Сборных шинах 110-220 кВ	Тоже	Вольтметр с переключаем на три междуфазных напряжения и регистрирующий вольтметр; осциллограф на транзитных подстанциях, фиксирующий прибор (Ч)
5	TCH	вн нн	Амперметр, расчетный счетчик активной энергии
7	Шиносоединительного и секционного выключателей		Амперметр
9	Обходного выключатель		Амперметр, ваттметр и варметр, расчетные счетчики и фиксирующий прибор
11	Трехобмоточный трансформатор	вн сн нн	Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии
12	Линия 35 кВ		Амперметр, расчетный счетчик активной энергии

## 1.9 Выбор измерительных трансформаторов.

Измерительные трансформаторы тока, предназначены для уменьшения первичного тока до значений, более удобных для измерительных приборов и реле, а также отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист 26
------	------	---------	---------	------	----------------	------------

Измерительные трансформаторы напряжения, предназначены для понижения высокого напряжения до стандартного значения или и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

### **1.9.1 Выбор измерительных трансформаторов тока на высокое напряжение 110 кв.**

Так как в выбранный выключатели ВТБ-110 встроенные трансформаторы тока то произведем только их проверку

Таблица 2.7 - Нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип прибора	Нагрузка фаз		
		A(BA)	B(BA)	C(BA)
Амперметр	Э-335	0,5	0,5	0,5
Счетчик активной энергии и реактивной энергии	Н-670	2,5	-	2,5
Ваттметр и варметр	Н-348	10	-	10
Итого:		13	-	13

Выбираем трансформатор тока по следующим условиям:

По номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \text{кВ}$$

$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ}$$

По номинальному току первичной обмотки:

$$I_{max} \leq I_{ном}, \text{А}$$

$$70,3 \text{ А} \leq 100 \text{ А}$$

Обмотка класса точности 0,5.

$$I_{ном} = 100 \text{ А}$$

$$I_{тер} = 25 \text{ кА}$$

$$S_2 = 20 \text{ ВА}$$

На термическую стойкость:

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \text{ кА}^2 \text{с}$$

где  $I_{тер}$  – ток термической стойкости

$t_{тер}$  – время протекания тока термической стойкости

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	Лист
					27

ДП 13.03.02.15

$$B_k = 0,77^2 \cdot (3 + 0,1) = 1,8 \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_{kter} = I_{ter}^2 \cdot t_{ter}, \text{ кA}^2\text{с}$$

$$B_{kter} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кA}^2\text{с}$$

$$1,8 \text{ кA}^2\text{с} \leq 1875 \text{ кA}^2\text{с}$$

Проверяю на вторичную нагрузку:

$$S_2 \leq S_{2\text{ном}}$$

$$S_2 = r_2 \cdot I_2^2$$

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{конт}} + r_{\text{провод}}$$

где  $r_{\text{приб}}$  – сопротивление прибора

$r_{\text{конт}}$  – сопротивление контактов

$r_{\text{провод}}$  – 0,1 Ом из руководящих указаний

Принимаем во вторичных цепях трансформатора тока многожильные контрольные кабели с полихлорвиниловой изоляцией медными жилами, сопротивление контактов  $r_{\text{конт}}=0,1$  Ом , тогда сопротивление проводов

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \text{ Ом}$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{13}{5^2} = 0,52 \text{ Ом}$$

$$r_2 = 0,52 + 0,1 + 0,1 = 0,72 \text{ Ом}$$

$$S_2 = 0,72 \cdot 5^2 = 118 \text{ ВА}$$

$$18 \text{ ВА} \leq 20 \text{ ВА}$$

Окончательно оставляем встроенные трансформаторы тока так как он проходит по всем условиям выбора.

## 1.9.2 Выбор измерительных трансформаторов тока на средние напряжение 35 кв.

Так как в выбранный выключатели ВГБ-35 встроенные трансформаторы тока то произведем только их проверку

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

28

Таблица 2.8 - Нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип прибора	Нагрузка фаз		
		A(BA)	B(BA)	C(BA)
Амперметр	Э-335	0,5	0,5	0,5
Счетчик активной энергии и реактивной энергии	Н-670	2,5	-	2,5
Ваттметр, варметр	Н-348	10	-	10
Итого:		13	-	13

Выбираем трансформатор тока по следующим условиям:

По номинальному напряжению:

$$U_{yst} \leq U_{nom}, kV$$

$$35 \text{ kV} = 35 \text{ kV}$$

По номинальному току первичной обмотки:

$$I_{max} \leq I_{nom}, A$$

$$230,9 \text{ A} \leq 630 \text{ A}$$

Обмотка класса точности 0,5.

$$I_{nom} = 630 \text{ A}$$

$$I_{terp} = 25 \text{ kA}$$

$$S_2 = 20 \text{ VA}$$

На термическую стойкость:

$$B_k \leq I_{terp}^2 \cdot t_{terp}, \text{ kA}^2 \text{c}$$

где  $I_{terp}$  – ток термической стойкости

$t_{terp}$  – время протекания тока термической стойкости

$$B_k = 0,96^2 \cdot (3 + 0,1) = 2,8 \text{ kA}^2 \text{c}$$

$$B_{kterp} = I_{terp}^2 \cdot t_{terp}, \text{ kA}^2 \text{c}$$

$$B_{kterp} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ kA}^2 \text{c}$$

$$2,8 \text{ kA}^2 \text{c} \leq 1875 \text{ kA}^2 \text{c}$$

Проверяю на вторичную нагрузку:

$$S_2 \leq S_{2nom}$$

$$S_2 = r_2 \cdot I_2^2$$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	Лист
					ДП 13.03.02.15 29

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{конт}} + r_{\text{провод}}$$

где  $r_{\text{приб}}$  – сопротивление прибора

$r_{\text{конт}}$  – сопротивление контактов

$r_{\text{провод}}$  – 0,1 Ом из руководящих указаний

Принимаем во вторичных цепях трансформатора тока многожильные контрольные кабели с полихлорвиниловой изоляцией медными жилами, сопротивление контактов  $r_{\text{конт}}=0,1$  Ом , тогда сопротивление проводов

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \text{Ом}$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{13}{5^2} = 0,52 \text{ Ом}$$

$$r_2 = 0,52 + 0,1 + 0,1 = 0,72 \text{ Ом}$$

$$S_2 = 0,72 \cdot 5^2 = 18 \text{ ВА}$$

$$18 \text{ ВА} \leq 20 \text{ ВА}$$

Окончательно оставляем встроенные трансформаторы тока так как он проходит по всем условиям выбора.

### 1.9.3 Выбор измерительных трансформаторов тока на низкое напряжение 6 кВ.

Выбор измерительных трансформаторов тока для установки в цепи со стороны низкого напряжения подстанции 6 кВ.

Таблица 2.9 - Нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип прибора	Нагрузка фаз		
		A(ВА)	B(ВА)	C(ВА)
Амперметр	Э-335	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	Д-335	10	-	10
Расчетный счетчик активной и реактивной энергии	А-800	2,5	-	2,5
Итого:		13	0,5	13

По конструкции выбираем трансформатор тока марки ТОЛ-10 «Доп.ист.» [16].

Обмотка класса точности 0,5.

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						30

$I_{ном}=2000\text{A}$        $I_{тер}=40\text{kA}$

$I_{дин}=102\text{kA}$        $S_2=30\text{VA}$

Выбираем трансформатор тока по следующим условиям:

По номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

$$6 \text{ kV}=10\text{kV}$$

По номинальному току первичной обмотки:

$$I_{max} \leq I_{ном}$$

$$1347 \text{ A} \leq 2000\text{A}$$

$$I_{max} = 1,4 \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1347 \text{ A}$$

проверяем по конструкции и классу точности:

Обмотка класса точности 0,5.

проверяем на электродинамическую стойкость:

$$i_y \leq i_{дин}$$

$$10,4 \text{ kA} \leq 102 \text{ kA}$$

на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$$

где  $I_{тер}$  –ток термической стойкости;

$t_{тер}$  –время протекания тока термической стойкости.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_0 + T_a), \text{kA}^2\text{c}$$

$$B_k = 4,1^2 \cdot (3 + 0,035) = 50,5 \text{ kA}^2\text{c}$$

$$B_{kter} = I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \text{kA}^2\text{c}$$

$$B_{kter} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ kA}^2\text{c}$$

$$50,5 \text{ kA}^2\text{c} \leq 4800 \text{ kA}^2\text{c}$$

Проверка по сопротивлению :

$$r_2 = r_{приб} + r_{конт} + r_{провод}, \text{Ом}$$

где  $r_{приб}$  –сопротивление прибора ;

$r_{конт}$  – указаний 0,1Ом из руководящих указаний ;

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

31

$$r_{\text{провод}} = 1,3 \text{ Ом.}$$

Принимаем во вторичных цепях трансформатора тока многожильные контрольные кабели с полихлорвиниловой изоляцией медными жилами, сопротивление контактов  $r_{\text{конт}}=0,1 \text{ Ом}$ , тогда сопротивление проводов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_z^2}, \text{ Ом}$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{13}{5^2} = 0,520 \text{ Ом}$$

$$r_2 = 0,52 + 0,1 + 1,3 = 1,92 \text{ Ом}$$

$$r_2 \leq 4 \text{ Ом}$$

$$1,92 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}$$

Окончательно выбираем трансформатор тока марки ТОЛ-10, так как он проходит по всем условиям выбора.

Расшифровка ТОЛ-10

Т-трансформатор тока;

О-опорный;

Л-с литой изоляцией;

10-класс напряжения, кВ.

Таблица 2.10 - Технические данные трансформатора тока

Тип	Uном, кВ	Номинальный ток, кА		Класс точности	Ток стойкости, кА		время, с
		Первичный ток	Вторичный ток		Динамической	Термической	
ТОЛ-10	10	2000	5	0,5	102	40	3

#### 1.9.4 Выбор измерительных трансформаторов на напряжение 110 кВ.

В соответствии с типовой схемой нам необходимо установить измерительные трансформаторы напряжения 110 кВ. Предлагаем к установке элегазовые трансформаторы напряжения марки ЗНОГ-110.

Таблица 2.11 - Нагрузка трансформатора напряжения

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						32

Прибор	Тип	S одной обмотки	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Pпотр. Вт	Qпотр Вт
Варметр	Д-337	1,5	2	0	1	4	0	6
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	4	6	0
Расчетный счетчик активной и реактивной энергии	А-800	4	2	0,38	0,9	4	6,08	14,4
Вольтметр	Э350	3	1	1	0	8	27	0
Итого:							39,08	20,4

Определяем полную нагрузку на трансформаторе напряжения «стр.301 гл. 4,10»:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{39,08^2 + 20,4^2} = 44,08 \text{ ВА}$$

Выбираем трансформатор напряжения с допустимой вторичной нагрузкой 600ВА в классе точности 0,5, что будет больше расчетной нагрузки марки ЗНОГ-110УХЛ1 по условию «Доп.ист.» [10]:

Обмотка класса точности 0,5.

S2=150ВА

по напряжению установки:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$110\text{kV}=110\text{kV}$$

по классу точности: -0,5

По вторичной нагрузке:

$$S_2 \leq S_{2\text{ном}}$$

$$44,08 \text{ ВА} \leq 150 \text{ ВА}$$

Трансформатор прошел все проверки. Окончательно предлагаем выбрать трансформатор напряжения марки ЗНОГ-110.

Особенности:

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						33

Расшифровка

З-заземленный;

Н-трансформатор напряжения;

О-однофазный;

Г-газонаполненный;

110-класс напряжения, кВ.

### 1.9.5 Выбор измерительных трансформаторов напряжения на средние напряжение 35 кВ.

В сеть 35 кВ также предлагаем установить трансформатор напряжения марки НАЛИ-35.

Таблица 2.15- Нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	Тип	S одной обмотки	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Pпотр. Вт	Qпотр. Вт
Варметр	Д-337	1,5	2	0	1	2	0	3
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	2	3	0
Расчетный счетчик активной и реактивной энергии	А-800	4	2	0,38	0,9	7	10,64	25,2
Вольтметр	Э350	3	1	1	0	6	18	0
Итого:							31,64	28,2

Определяем полную нагрузку на трансформаторе напряжения:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{31,64^2 + 28,2^2} = 42,4 \text{ ВА}$$

Выбираем трансформатор напряжения с допустимой вторичной нагрузкой 100 ВА в классе точности 0,5, что будет больше расчетной нагрузки марки НАЛИ-35 по условию «Доп.ист.» [17]:

Обмотка класса точности 0,5.

$S_2=100 \text{ ВА}$

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						34

по напряжению установки:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$35\text{kV}=25\text{kV}$$

по классу точности -0,5

По вторичной нагрузке:

$$S_2 \leq S_{2\text{ном}}$$

$$42,4 \text{ VA} \leq 100 \text{ VA}$$

Трансформатор прошел все проверки. Окончательно предлагаем выбрать трансформатор напряжения марки НАЛИ-35

### 1.9.6 Выбор измерительных трансформаторов напряжения на низкое напряжение 6 кВ.

В сеть 6 кВ также предлагаем установить трансформатор напряжения марки НАМИ-6.

Таблица 2.15- Нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	Тип	S одной обмотки	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Рпотр. Вт	Qпотр Вт
Варметр	Д-337	1,5	2	0	1	2	0	3
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	2	3	0
Расчетный счетчик активной и реактивной энергии	А-800	4	2	0,38	0,9	11	16,72	39,6
Вольтметр	Э350	3	1	1	0	8	24	0
Итого:							43,7	42,6

Определяем полную нагрузку на трансформаторе напряжения:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{43,7^2 + 42,6^2} = 61 \text{ VA}$$

Выбираем трансформатор напряжения с допустимой вторичной нагрузкой 100 ВА в классе точности 0,5, что будет больше расчетной нагрузки марки НАМИ-6 по условию «Доп.ист.» [17]:

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						35

Обмотка класса точности 0,5.

$S_2=100 \text{ ВА}$

по напряжению установки:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$6\text{kV}=6\text{kV}$$

по классу точности -0,5

По вторичной нагрузке:

$$S_2 \leq S_{2\text{ном}}$$

$$61 \text{ ВА} \leq 100 \text{ ВА}$$

Трансформатор прошел все проверки. Окончательно предлагаем выбрать трансформатор напряжения марки НАМИ-6

### **1.10 Выбор трансформаторов собственных нужд.**

Наиболее ответственными потребителями собственных нужд подстанции являются оперативные цепи, системы связи, телемеханики, система охлаждения трансформаторов, аварийное освещение система пожаротушения, электроприемники компрессорной.

Таблица 2.1 - Нагрузка собственных нужд подстанции

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

Лист

36

Виды потребителей	Количество	Установленная мощность		cos	sin	Нагрузка	
		единицы, кВт	Всего, кВт			Руст, кВТ	Qуст, кварт
Освещение подстанции	1	5	5	1	0	5	0
Аварийное освещение подстанции	1	2	2	1	0	2	0
Система пожаротушения	1	3	3	0,83	0,62	2,49	1,86
Система охлаждения трансформаторов	2	1,5	3	0,83	0,62	2,49	1,86
Подогрев привода разъединителя 110 кВ	8	3,5	28	1	0	28	0
Подогрев привода выключателя 110 кВ	2	3,5	7	1	0	7	0
Обогрев здания подстанции	1	10	10	1	0	10	0
Передвижная база масляного хозяйства	1	15	15	1	0	15	0
Подогрев привода разъединителя 35 кВ	16	3,5	56	1	0	56	0
Подогрев привода выключателя 35 кВ	5	3,5	17,5	1	0	17,5	0
Подогрев шкафов КРУН-10	17	2,5	42,5	1	0	42,5	0
Итого						187,98	3,72

Определяем расчетную нагрузку потребителей собственных нужд:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ кВА}$$

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{187,98^2 + 3,72^2} = 188 \text{ кВА}$$

Определяем желаемую мощность трансформаторов:

$$S_T > \frac{S_{\text{расч}}}{K_{\text{пп}}}$$

$$S_T = \frac{188}{1,4} = 134,4 \text{ кВА}$$

Выбираем трансформатор ТМГ-.160/6

### 1.11 Выбор режимов нейтралей.

Электроустановки в зависимости от мер электробезопасности разделяются на 4 группы:

электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю),

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист
						37

электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю),

электроустановки напряжением до 1 кВ с глохозаземленной нейтралью,

электроустановки напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью.

Таблица 2.12 - Режимы нейтрали трехфазных систем

Напряжение, кВ	Режим нейтрали	Примечание
0,23	Глохозаземленная нейтраль	Требования техники безопасности. Заземляются все корпуса электрооборудования
0,4		
0,69	Изолированная нейтраль	Для повышения надежности электроснабжения
3,3		
6		
10		
20		
35		
110	Эффективно заземленная нейтраль	Для снижения напряжения незамкнутых фаз относительно земли при замыкании одной фазы на землю и снижения расчетного напряжения изоляции
220		
330		
500		
750		
1150		

## 1.12 Расчёт заземляющего устройства ЗУ

Заземлением называется преднамеренное электрическое соединение какой-либо части электроустановки с заземляющим устройством.

Заземления делятся на защитные, рабочие и грозозащитные. Обычно для выполнения всех трех типов заземления используют одно заземляющее устройство.

Для выполнения заземления используют естественные заземлители. В качестве искусственных заземлителей применяют круглую сталь диаметром не менее 10 мм; полосовую сталь шириной не менее 4 мм, сечением не менее 48  $\text{мм}^2$ ; угловую сталь 50x30x5 мм.

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист 38
------	------	---------	---------	------	----------------	------------

Количество заземлителей определяется расчетом, в зависимости от необходимого сопротивления грунта.

Размещение искусственных заземлителей производится таким образом, чтобы достичь равномерного распределения электрического потенциала на площади, занятой электрооборудованием. Для этой цепи на территории ОРУ прокладывают заземляющие полосы на глубине 0,5-0,7 м вдоль рядов оборудования и в поперечном направлении, то есть образуется заземляющая сетка, к которой присоединяется заземляемое оборудование. Размеры ячеек заземляющей сетки для электроустановок с эффективно заземленной нейтралью не должна превышать 6x6 м.

Вертикальные заземлители должны быть длиной 3-5 м, а расстояние между ними должно быть не менее их длины.

Величины сопротивления заземляющих устройств электроустановок устанавливаются ПУЭ и зависят от напряжения электроустановки и ее режима нейтрали.

Определяем расчетное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{рас}} = \rho \cdot K_c, \Omega$$

где  $K_c$  - коэффициент стикания (для вертикальных электродов 1,3; для горизонтальных - 2,5),

$\rho$  - удельное сопротивление грунта

$$\rho_{\text{рас.в}} = 50 \cdot 1,3 = 65 \Omega$$

$$\rho_{\text{рас.г}} = 50 \cdot 2,5 = 125 \Omega$$

Определяем сопротивление одного вертикального электрода:

$$r_v = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.в}}}{L_v} \left( \lg \frac{2L_v}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t_v + L_v}{4t_v - L_v} \right), \Omega$$

где  $t_v$  - расстояние от поверхности земли до середины вертикального заземлителя

$$t_v = \frac{L_v}{2} + t, \text{м}$$

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

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ДП 13.03.02.15

лист

39

$$r_{\text{в}} = \frac{0,366 \cdot 65}{5} \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,025} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3,5 + 5}{4 \cdot 3,5 - 5} \right) = 11,7 \text{ Ом}$$

Определяем количество электродов:

$$n_e = \frac{r_{\text{в}}}{R_{yz}}$$

$$n_e = \frac{11,7}{0,5} = 23,4$$

где  $R_{yz}$  - постоянная для напряжения 110 кВ = 0,5 Ом

Принимаем  $n_e = 24$  шт

Определяем сопротивление горизонтальной полосы, для этого необходимо найти длину полосы:

$$l = n_e \cdot a, \text{ м}$$

где  $a$  - расстояние между электродами, примем за длину электрода.

$$l = 24 \cdot 5 = 120 \text{ м}$$

$$r_g = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{l} \cdot \lg \frac{2 \times l^2}{b \cdot t}$$

$$r_g = \frac{0,366 \cdot 125}{120} \cdot \lg \frac{2 \cdot 20^2}{0,47 \cdot 0,7} = 1,3 \text{ Ом}$$

5. Определяем сопротивление полосы с учетом коэффициента использования:

$$R_g = \frac{r_g}{\eta} = \frac{1,3}{1,1} = 1,2 \text{ Ом}$$

6. Определяем сопротивление вертикальных электродов, с учетом коэффициента использования:

$$R_B = \frac{r_{\text{в}}}{n_{\text{в}} \cdot \chi}, \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{11,7}{24 \cdot 0,62} = 0,8 \text{ Ом}$$

7. Определяем общее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{зуф} = \frac{R_g \cdot R_B}{R_g + R_B}, \text{ Ом}$$

$$R_{зуф} = \frac{1,2 \cdot 0,8}{1,2 + 0,8} = 0,48 \text{ Ом}$$

Изм.	Лист	Ноум.	Подпись	Дата	ДП 13.03.02.15	Лист 40

Сопротивление заземляющего устройства должно быть не больше нормирующего сопротивления

$$R_{3y\phi} \leq R_{3y}, \text{Ом}$$

$$0,48 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом}$$

Делаем вывод что ЗУ эффективно

### **1.13 Молниезащита и защита от перенапряжения**

Грозовые перенапряжения возникают вследствие воздействия на электроустановку грозовыми разрядами. Они делятся: на индуцированные и от прямых попаданий молнии.

Индуктированные возникают при грозовом разряде вблизи электроустановки. Прямые удары молнии носят кратковременный характер.

Для защиты открытых распределительных устройств 110 кВ, устанавливаю стержневые молниевыводы, совмещенные с порталами.

На зданиях ОПУ и закрытого распределительного устройства предлагаем уложить молниеприемные сетки с ячейками 6x6 м, и присоединить эти сетки к заземляющему устройству подстанции. Для защиты электроустановок на подстанции, предлагаем использовать ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН), установленные на сборных шинах всех напряжений. Для установки на ОРУ-110 кВ принимаем ОПН-110. Для установки КРУН-6кВ принимаем ОПН-ОПН-6/29.