

## 11. ПРИЛОЖЕНИЯ.

### 11.1. Выбор шин распределительных устройств

#### Типы проводников, применяемых в основных электрических цепях.

Основное электрическое оборудование подстанции (трансформатор и аппараты в этих цепях (выключатели, разъединители и др.) соединяются между собой проводниками разного типа, которые образуют токоведущие части электрической установки.

Соединение трансформатора с закрытым РУ -10 кВ и РУ 0,4 кВ осуществляется жесткой ошиновкой.

#### Выбор жестких шин

В закрытых РУ-10 кВ и РУ-0,4кВ ошиновка выполняется жесткими алюминиевыми шинами. Медные шины из-за высокой их стоимости не применяются даже при больших токовых нагрузках. При токах до 3000 А применяются однополосные шины.

Сборные шины и ответвления от них к электрическим аппаратам (ошиновка) 10 кВ и 0,4кВ из проводников прямоугольного профиля крепятся на опорных фарфоровых изоляторах.

В конструкции КТП применяются однополосные шины, расположенные горизонтально (см. рис.4.3). Учитывая малую длину шин, установка компенсаторов не требуется.

Для лучшей теплоотдачи и удобства эксплуатации шины окрашивают при переменном токе фаза А в желтый, фаза В - зеленый и фаза С - красный цвет.

Согласно ПУЭ сборные шины электроустановок и ошиновка в пределах открытых и закрытых РУ всех напряжений по экономической плотности тока не проверяются.

#### Порядок расчёта

**Выбор сечения шин** производится по нагреву (по допустимому току). При этом учитываются не только нормальные, но и послеаварийные режимы, а также режимы в период ремонтов и возможность неравномерного распределения токов между секциями шин. Условие выбора:

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$$

где  $I_{\text{доп}}$  - допустимый ток на шины выбранного сечения с учетом поправки при расположении шин плашмя или температуре воздуха, отличной от принятой в

таблицах ( $\vartheta_{\text{о,ном}} = 25^{\circ}\text{C}$ ).

В последнем случае

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп,ном}} \sqrt{\frac{\vartheta_{\text{доп}} - \vartheta_{\text{о}}}{\vartheta_{\text{доп}} - \vartheta_{\text{о,ном}}}}.$$

					4710028255-010-ЭС-Т.1	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

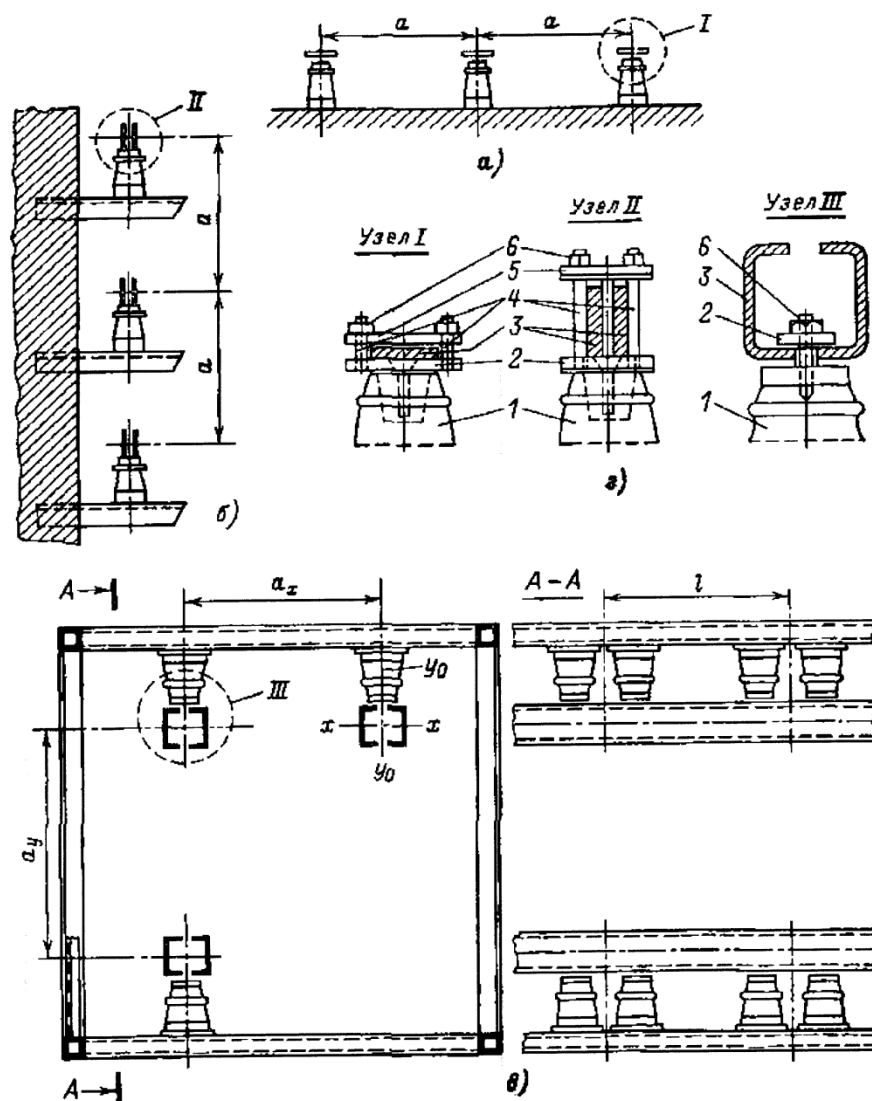


Рис. 4.3. Эскизы расположения шин:

$a$  – горизонтальное;  $b$  – вертикальное;  $a$  – по вершинам треугольника;  $z$  – крепление шин в узлах I, II, III; 1 – опорный изолятор; 2 – стальная планка; 3 – шина; 4 – стальная распорная трубка; 5 – алюминиевая планка; 6 – шпилька

Для неизолированных проводов и окрашенных шин принято  $g_{доп} = 70^\circ\text{C}$ ;  $g_{о,ном} = 25^\circ\text{C}$ , тогда

$$I_{доп} = I_{доп,ном} \sqrt{\frac{70 - g_o}{45}},$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4710028255-010-ЭС-Т.1

Лист

14

где  $I_{\text{доп,ном}}$  - допустимый ток по таблицам [2] при температуре воздуха  $\vartheta_{\text{о,ном}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\vartheta_{\text{о}}$  - действительная температура воздуха;

$\vartheta_{\text{доп}}$  - допустимая температура нагрева продолжительного режима (по ПУЭ для шин принято  $+70^{\circ}\text{C}$ ).

Проверка шин на термическую стойкость при КЗ производится по условию:

$$\vartheta_{\text{к}} \leq \vartheta_{\text{к,доп}} \text{ или } q_{\text{min}} \leq q,$$

где  $\vartheta_{\text{к}}$  - температура шин при нагреве током КЗ;  $\vartheta_{\text{к,доп}}$  - допустимая температура нагрева шин при КЗ [1];  $q_{\text{min}}$  - минимальное сечение по термической стойкости;  $q$  — выбранное сечение.

### **Проверка шин на электродинамическую стойкость.**

В большинстве конструкций шин механического резонанса не возникает. Поэтому ПУЭ не требуют их проверки на электродинамическую стойкость с учетом механических колебаний.

### **Механический расчет однополосных шин.**

Наибольшее удельное усилие при трехфазном КЗ, определяется, Н/м:

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{i_y^{(3)2}}{a}.$$

Так как расстояние между фазами значительно больше периметра шин  $a \gg 2(b + h)$ , то коэффициент формы  $k_{\text{ф}} = 1$ .

Наибольшие электродинамические усилия возникают при трехфазном повреждении, поэтому в дальнейших расчетах учитывается ударный ток трехфазного КЗ. Индексы (3) для упрощения опускаются.

Равномерно распределенная сила  $f$  создает изгибающий момент, (шина рассматривается как многопролетная балка, свободно лежащая на опорах), Н•м:

$$M = \frac{f \cdot l^2}{10},$$

где  $l$  — длина пролета между опорными изоляторами шинной конструкции, м.

Напряжение в материале шины, возникающее при воздействии изгибающего момента, МПа:

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W} = \frac{f \cdot l^2}{10 \cdot W} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{i_y^2 \cdot l^2}{W_a},$$

где  $W$  — момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия,  $\text{см}^3$  [1].

Шины механически прочны, если

$$\sigma_{\text{расч}} \leq \sigma_{\text{доп}},$$

где  $\sigma_{\text{доп}}$  - допустимое механическое напряжение в материале шин.

					4710028255-010-ЭС-Т.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Согласно ПУЭ  $\sigma_{\text{доп}} < 0,7 \sigma_{\text{разр.}}$ .

### Выбор изоляторов

В распределительных устройствах шины крепятся на опорных, проходных и подвесных изоляторах. Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

☐ по номинальному напряжению  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$

☐ по допустимой нагрузке  $F_{\text{расч}} \leq F_{\text{доп}};$

где  $F_{\text{расч}}$  - сила, действующая на изолятор;  $F_{\text{доп}}$  - допустимая нагрузка на головку изолятора:

$$F_{\text{доп}} = 0.6 F_{\text{разр.}}$$

$F_{\text{разр.}}$  - разрушающая нагрузка на изгиб.

При горизонтальном или вертикальном расположении изоляторов всех фаз расчетная сила,  $H$ :

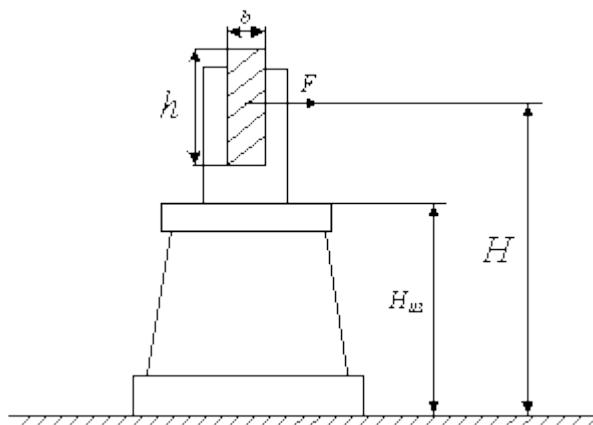


Рис. 2. К определению расчетной нагрузки на изолятор

При горизонтальном или вертикальном расположении изоляторов всех фаз расчетная сила,  $H$ :

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \frac{l_y^2}{a} \cdot k_h \cdot 10^{-7} = f_{\phi} \cdot l \cdot k_h,$$

где  $k_h$  - поправочный коэффициент на высоту шины, если она расположена на ребро (рис 2):

$$k_h = \frac{H}{H_{\text{из}}}; H = H_{\text{из}} + b + \frac{h}{2},$$

где  $H_{\text{из}}$  - высота изолятора.

При расположении шин в вершинах треугольника  $F_{\text{расч}} = k_h F_u$

Проходные изоляторы выбираются:

☐ по напряжению  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$

- ☐ по номинальному току  $I_{\max} \leq I_{\text{ном}};$
- ☐ по допустимой нагрузке  $F_{\text{расч}} \leq F_{\text{доп}};$

Для проходных изоляторов расчетная сила, Н:

$$F_{\text{расч}} = 0.5 \cdot f_{\phi} \cdot l.$$

Выбираем шины 10.5 кВ, к которым присоединены проектируемая КТП и ТП-49. Суммарная мощность 650кВА и связью с системой по линиям 10 кВ. Принять  $T_{\max} = 8760$  ч, среднемесячную температуру наиболее жаркого месяца  $+30^{\circ}\text{C}$ . Значения токов КЗ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения токов КЗ

Источник	$I_{n,0},$ кА	$I_{n,\tau},$ кА	$i_y,$ кА	$i_{a,\tau},$ кА
ПС-48	9,82	9,82	24,93	8,94

**Решение.** Согласно п.1.3.28 ПУЭ сборные шины и ошиновка в пределах распределительных устройств всех напряжений по экономической плотности тока не проверяются, поэтому выбор производится по допустимому току.

Для РУ-10кВ запроектированы камеры сборные одностороннего обслуживания КСО 386. По данным приведённым в руководстве по эксплуатации (Л-13, КНЧБ386-002РЭ) номинальный ток этих высоковольтных ячеек составляет:  $I_{\text{ном}} = 630\text{А}$ . Допустимый длительный ток близкого номинала  $I_{\text{доп.д.т.}} = 740\text{А}$  (табл.1.1.31 ПУЭ), соответствует шинам прямоугольного сечения, изготовленным из алюминия, при количестве полос на фазу  $n=1$ , размером  $50 \times 6\text{мм}^2$ .

Наибольший ток в цепи сборных шин РУ-10кВ КТП, А:

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 0,95 \times U_{\text{ном}} \times \cos \varphi} = \frac{650}{\sqrt{3} \times 0,95 \times 10,5 \times 0,96} = 39,2\text{А}$$

Принимаем шины прямоугольного сечения алюминиевые АДЗ1Т  $50 \times 6\text{мм}^2$  (см.[Л-3]),  $I_{\text{доп.ном}} = 740\text{А}$ . С учетом поправочного коэффициента на температуру  $0,94$   $I_{\text{доп}} = 740 \times 0,94 = 695,6\text{А}$ , что больше наибольшего тока,  $I_{\text{доп}} = 740 \times 0,94 = 695,6\text{А} > I_{\max} = 39,2\text{А}$ .

**Проверка сборных шин на термическую стойкость**

По табл. 1  $I_{n,0} = 9,82\text{кА}$ , тогда тепловой импульс тока КЗ ( $\text{кА}^2\text{с}$ ):

$$B_k = I_{n,0}^2 \times (t_{\text{откл}} + T_a),$$

$$B_k = 9,82^2 \times (1,5 + 0,1) = 154,3$$

где :  $t_{\text{откл}} = 1,5\text{сек}$ , время отключения линии;

$T_a = 0,1$  сек, значение постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, принимаем по табл.3.8 (Л-11, стр.150) для распределительной сети 10кВ.

Минимальное сечение по условию термической стойкости, мм<sup>2</sup>:

$$g_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

$$g_{\min} = \frac{\sqrt{154,3 \times 10^6}}{91} = 136,5 \text{ мм}^2,$$

таким образом, выполняется условие:

$$g_{\min} = 136,5 \text{ мм}^2 \leq g = 300 \text{ мм}^2$$

т.е. минимальное сечение меньше выбранного сечения  $50 \times 6 = 300$ , следовательно, шины термически стойки;  $C$  принимаем по [Л-11].

### **Проверка шин на электродинамическую стойкость.**

Жесткие шин, укрепленные на изоляторах, представляют собой динамическую колебательную систему, находящуюся под воздействием электродинамических сил. В такой системе возникают колебания, частота которых зависит от массы и жесткости конструкций.

Электродинамические силы, возникающие при КЗ, имеют составляющие, которые изменяются с частотой 50 и 100Гц. Если собственные частоты колебательной системы шины-изоляторы совпадут с этими значениями, то нагрузки на шины и изоляторы возрастут. Если собственные частоты меньше 30 и больше 200Гц, то механического резонанса не возникает. В большинстве практически применяемых конструкций шин эти условия соблюдаются, поэтому ПУЭ не требуют проверки на электродинамическую стойкость с учётом механических колебаний. Однако в данном случае, при проектировании новой конструкции РУ с жесткими шинами, произведём определение частоты собственных колебаний. Для алюминиевых шин они определяются по формуле:

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \times \sqrt{\frac{J}{g}},$$

где  $l$  – длина пролёта между изоляторами, м. Учитывая геометрические размеры применяемых ячеек принимаем равной 0,8м;

$J$  – момент инерции поперечного сечения шины относительно оси, перпендикулярной направлению изгибающей силы, см<sup>4</sup>. Для выбранного размера и расположения шин определяется по формуле:

$$J = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{6 \times 50^3}{12} = 6,25 \text{ см}^4;$$

$g$  – поперечное сечение шины, см<sup>2</sup>. Для выбранного размера шин  $300 \text{ мм}^2 = 3 \text{ см}^2$ .

Тогда получаем:

					4710028255-010-ЭС-Т.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

$$f_0 = \frac{173,2}{0,8^2} \times \sqrt{\frac{6,25}{3}} = 390,6 \text{ Гц}$$

Так как  $f_0 = 390,6 \text{ Гц} > 200 \text{ Гц}$ , механический резонанс исключен и выбранная конструкция и размеры шин обладают необходимой электродинамической стойкостью.

#### **Проверка сборных шин на механическую прочность.**

##### **Механический расчёт однополосных шин.**

Наибольшее удельное усилие при трехфазном КЗ, определяется, Н/м:

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \times 10^{(-7)} \times \frac{i_y^{(3)2}}{a}.$$

Так как расстояние между фазами значительно больше периметра шин

$a = 0,2 \text{ м} \gg p = 2(b + h) = 0,112 \text{ м}$ , то коэффициент формы  $k_\phi = 1$ .

При известном значении ударного тока  $i_y = 24,93 \text{ кА}$ .

Наибольшие электродинамические усилия возникают при трехфазном повреждении, поэтому в дальнейших расчетах учитывается ударный ток трехфазного КЗ. Индексы (3) для упрощения опускаются.

Равномерно распределенная сила  $f$  создает изгибающий момент, (шина рассматривается как многопролетная балка, свободно лежащая на опорах), Н•м:

$$M = \frac{f \times l^2}{10},$$

где  $l$  — длина пролета между опорными изоляторами шинной конструкции, м.

Напряжение в материале шины, возникающее при воздействии изгибающего момента, МПа:

$$\sigma_{\text{расч.}} = \frac{M}{W} = \frac{f \times l^2}{10 \times W} = \sqrt{3} \times 10^{-8} \times \frac{i_y^2 \times l^2}{W \times a},$$

где  $W$  — момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия,  $\text{см}^3$  [Л-11, стр.223]. Момент сопротивления для выбранного размера и расположения шин плашмя и расстоянии по осям прокладки фаз  $a = 0,2 \text{ м}$ , определяется выражением:

$$W = b \cdot h^2 / 6 = 0,6 \cdot 5^2 / 6 = 2,5 \text{ см}^3 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Соответственно расчётное напряжение в материале шины составит:

$$\sigma_{\text{расч.}} = \sqrt{3} \times 10^{-8} \times \frac{24930^2 \times 0,8^2}{2,5 \times 0,2} = 13,8 \text{ МПа}.$$

Шины механически прочны, если

$$\sigma_{\text{расч.}} \leq \sigma_{\text{доп.}},$$

где  $\sigma_{\text{доп.}}$  — допустимое механическое напряжение в материале шин. Для выбранных шин выполненных из алюминиевого сплава, закалённых и естественно состаренных (марка АДЗ1Т), согласно данным приведенным в Л-11,  $\sigma_{\text{разр.}} = 130 \text{ МПа}$  и  $\sigma_{\text{доп.}} = 75 \text{ МПа}$ . Согласно ПУЭ  $\sigma_{\text{доп.}} < 0,7 \sigma_{\text{разр.}}$ .

В данном конкретном случае:  $\sigma_{\text{расч.}} = 13,8 \text{ МПа} < \sigma_{\text{доп.}} = 75 \text{ МПа}$ , т.е. шины механически прочны.

					4710028255-010-ЭС-Т.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19