

## ЗАДАНИЕ

**Пример-1.** Одноцепная ВЛ напряжением 110 кВ на стальных многогранных опорах сооружается с проводами марки АС 150/24 и грозозащитным тросом марки ТК 9,1 в ненаселённой местности типа В, относящейся к I ветровому и II гололёдному районам. Необходимо определить удельные механические нагрузки на провода и грозозащитный трос.

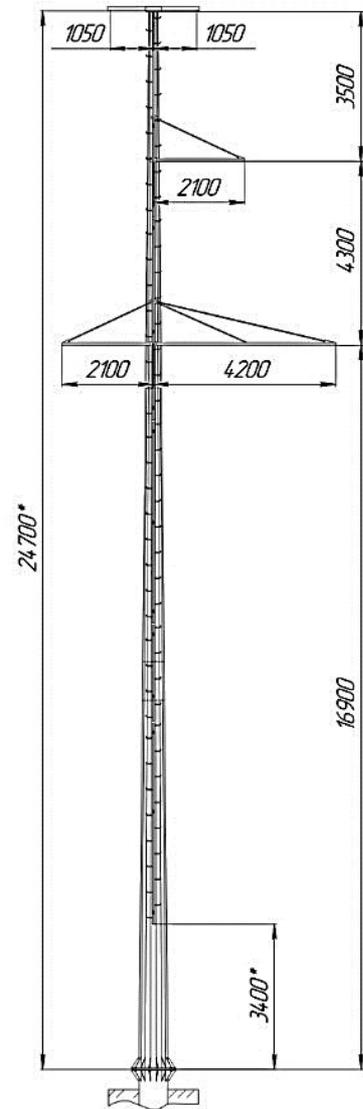
**Исходные данные.** Провод марки АС 150/24 состоит из стального сердечника свитого из 7 стальных оцинкованных проволок диаметром  $d_{ст} = 2.1$  мм (один повив) и 26 алюминиевых проводов диаметром  $d_{ал} = 2.7$  мм (два повива). Диаметр стального сердечника  $d_c = 6,3$  мм.

Распределение проволок по повивам следующее:

- стальной сердечник – один центральный провод и один повив из 6 проволок;
- алюминиевая часть – внутренний повив содержит 10 проволок, внешний повив имеет 16 проволок.

Основные данные для провода АС 150/24 и троса ТК 9.1 представлены в таблице 1.

Марка провода		Диаметр, мм	Масса, кг/км
АС 150/24	173,2 (149/24,2)	17,1	599
ТК 9,1	48, 64	9,1	418



Выбрана одноцепная промежуточная стальная многогранная опора типа ПМ110-1ФТ. Ориентировочная высота поддерживающей гирлянды изоляторов  $\lambda = 1,35$  м для ВЛ напряжением 110 кВ.

Трасса ВЛ проходит по местности, относящейся к II гололёдному району с нормативной толщиной стенки гололёда  $b_0 = 15$  мм, и ветровому району, для которого нормативное ветровое давление составляет  $W_0 = 400$  Па.

Однако, для ВЛ напряжением 110-750 кВ минимальное значение ветрового давления принимается равным  $W_0 = 500$  Па (ПУЭ), поэтому в качестве расчётного значения принимаем его. Наименьшее допустимое расстояние от провода ВЛ напряжением 110 кВ, проходящей по ненаселённой местности, до поверхности земли  $h_T = 6$  м.

## РЕШЕНИЕ

**Расчёт удельных механических нагрузок провода.** Удельная нагрузка провода от собственной массы:

$$\gamma_1^p = k_f \cdot \frac{M \cdot g}{F_\Sigma} \cdot 10^{-3} = 1 \cdot \frac{599 \cdot 9,81}{173,2} \cdot 10^{-3} = 33,93 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

Допустимая стрела провеса провода:

$$[f] = H_{\text{тр}}^{\text{НИЖ}} - \lambda - h_T = 16,9 - 1,35 - 6 = 9,55 \text{ м}$$

Высота расположения центра тяжести нижних проводов:

$$h_{\text{ц.т.}}^{\text{ниж}} = h_{\Gamma} + \frac{1}{3} \cdot [f] = 6 + \frac{1}{3} \cdot 9,55 = 9,18 \text{ м}$$

Высота расположения приведённого центра тяжести системы проводов определяется через высоту центра тяжести нижних проводов и вертикальное расстояние между нижней и верхней траверсами опоры  $\Delta h_{\text{н-в}} = 4,3 \text{ м}$ :

$$h_{\Sigma \text{ц.т.}} = \frac{3 \cdot h_{\text{н.цт}} + \Delta h_{\text{н-в}}}{3} = \frac{3 \cdot 9,18 + 4,3}{3} = 10,61 \text{ м}$$

Т. к. высота расположения приведённого центра тяжести системы проводов  $h_{\Sigma \text{цт}} < 25 \text{ м}$ , поправки на толщину стенки гололёда в зависимости от высоты и диаметра провода не вводятся. Поправочные коэффициенты на высоту  $k_b^h$  и диаметр провода  $k_b^d$  равны 1, тогда расчётная толщина стенки гололёда равна нормативному значению  $b_p = 15 \text{ мм}$ .

Нормативная удельная механическая нагрузка от массы гололёдноизморозевых отложений равна:

$$\begin{aligned} \gamma_2^{\text{н}} &= 27,75 \cdot \frac{b_p \cdot (d_{\text{пр}} + b_p)}{F_{\Sigma}} \cdot 10^{-3} = 27,75 \cdot \frac{15 \cdot (17,1 + 15)}{173,2} \cdot 10^{-3} \\ &= 77,15 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2} \end{aligned}$$

Коэффициент надёжности по ответственности  $k_H = 1$  для одноцепных ВЛ напряжением 110 кВ, региональный коэффициент  $k_p = 1$ , коэффициент надёжности по гололёдной нагрузке  $k_{HG} = 1,3$  для II района по гололёду, коэффициент условия работы  $k_d = 0,5$ :

$$\gamma_2^P = \gamma_2^H \cdot k_H \cdot k_p \cdot k_{HG} \cdot k_d = 77,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 50,15 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

Суммарная вертикальная нагрузка от собственной массы провода и массы гололёда:

$$\gamma_3^P = \gamma_1^P + \gamma_2^P = 33,93 \cdot 10^{-3} + 50,15 \cdot 10^{-3} = 84,08 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

Аэродинамический коэффициент лобового сопротивления для провода с  $d_{\text{пр}} = 17,1 \text{ мм} < 20 \text{ мм}$  равен  $C_a = 1,2$ , угол между направлением ветра и осью провода принимаем равным  $\varphi = 90^\circ$ , поправочный коэффициент, учитывающий увеличение ветрового давления по высоте  $k_W = 0,65$  для местности типа В и высоте приведённого центра тяжести системы проводов  $h_{\Sigma \text{ЦТ}} < 15 \text{ м}$ , коэффициент неравномерности ветрового давления по пролёту  $\alpha_W = 0,71$  для нормативного значения ветрового давления  $W_0 = 500 \text{ Па}$ .

До расстановки опор по трассе ВЛЭП реальные пролёты неизвестны, но в технической документации на опору ПМ110-1Ф указывается, что для ровной местности длина габаритного пролёта превышает 200 м. Поэтому принимаем значение поправочного коэффициента, учитывающего влияние длины пролёта  $k_L = 1$ .

Нормативная удельная нагрузка от давления ветра на провод без гололёда:

$$\begin{aligned} \gamma_4^H &= C_a \cdot \alpha_W \cdot k_W \cdot k_L \cdot \frac{W_0 \cdot d_{\text{пр}}}{F_\Sigma} \cdot \sin^2 \varphi \cdot 10^{-3} = \\ &= 1,2 \cdot 0,71 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot \frac{500 \cdot 17,1}{173,2} \cdot \sin^2 90^\circ \cdot 10^{-3} = 27,34 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2} \end{aligned}$$

Коэффициент надёжности по ответственности  $k_{oW} = 1$  для одноцепной ВЛЭП напряжением 110 кВ, региональный коэффициент  $k_{pW} = 1$ , коэффициент надёжности по ветровой нагрузке  $k_{нW} = 1,1$ . Тогда расчётная нагрузка от ветрового давления для провода без гололёда будет равна:

$$\gamma_4^P = \gamma_4^H \cdot k_{oW} \cdot k_{pW} \cdot k_{нW} = 27,34 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 30,07 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

При отсутствии региональных карт и данных наблюдений считается, что нормативное ветровое давление при гололёде равно  $W_\Gamma = 0,25 \cdot W_0 = 125$  Па. Для покрытых гололёдом проводов аэродинамический коэффициент лобового сопротивления независимо от диаметра провода составляет  $C_a = 1,2$ .

Поправочные коэффициенты на изменение ветрового давления по высоте и влияние длины пролёта не меняются. Коэффициент неравномерности ветрового давления по пролёту при  $W_\Gamma = 125$  Па равен  $\alpha_{\Gamma W} = 1$ .

Нормативная удельная механическая нагрузка от давления ветра на провод, покрытый гололёдом:

$$\begin{aligned} \gamma_5^H &= C_a \cdot \alpha_{rW} \cdot k_W \cdot k_L \cdot \frac{W_r \cdot (d_{пр} + 2 \cdot b_p)}{F_\Sigma} \cdot \sin^2 \varphi \cdot 10^{-3} = \\ &= 1,2 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot \frac{125 \cdot (17,1 + 2 \cdot 15)}{173,2} \cdot \sin^2 90^\circ \cdot 10^{-3} = 26,51 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2} \end{aligned}$$

Коэффициенты надёжности и ответственности, по ветровой нагрузке и региональный коэффициент не изменятся. Тогда расчётная удельная нагрузка от давления ветра на провод, покрытый гололёдом:

$$\gamma_5^P = \gamma_5^H \cdot k_{oW} \cdot k_{pW} \cdot k_{нW} = 26,51 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 29,17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

Результирующая удельная механическая нагрузка на провод, свободный от гололёда:

$$\gamma_6^P = \sqrt{(\gamma_1^P)^2 + (\gamma_4^P)^2} = \sqrt{(33,93 \cdot 10^{-3})^2 + (30,07 \cdot 10^{-3})^2} = 45,34 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

Результирующая удельная механическая нагрузка на провод, покрытый гололёдом:

$$\gamma_7^P = \sqrt{(\gamma_3^P)^2 + (\gamma_5^P)^2} = \sqrt{(84,08 \cdot 10^{-3})^2 + (29,17 \cdot 10^{-3})^2} = 89 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

## Расчёт удельных механических нагрузок на грозозащитный трос.

Удельная механическая нагрузка на грозозащитный трос от собственной массы:

$$\gamma_{1T}^p = k_{fT} \cdot \frac{M_T \cdot g}{F_T} \cdot 10^{-3} = 1 \cdot \frac{418 \cdot 9,81}{48,64} \cdot 10^{-3} = 84,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$$

Высота расположения центра тяжести троса при  $[f]_T = [f]$ :

$$h_{\text{ц.т.}}^T = H_{\text{оп}} - \frac{2}{3} \cdot [f]_T = 24,7 - \frac{2}{3} \cdot 9,55 = 18,33 \text{ м}$$

Так как высота расположения приведённого центра тяжести троса  $h_{\text{ц.т.}}^T < 25 \text{ м}$ , поправки на толщину стенки гололёда в зависимости от высоты и диаметра провода не вводятся. Поэтому расчётная толщина стенки гололёда для грозозащитного троса равна нормативному значению  $b_p^T = 15 \text{ мм}$ .

$$k_{WT} = 0,85 - \frac{0,85-0,65}{20-15} = 0,783$$

Расчёт остальных удельных механических нагрузок на грозозащитный трос производится аналогичным образом, поэтому результаты сведём в таблицу

		218,4	68,6	103,9	108,7	241,8