

Задача № 1.

Определение единичных и удельных механических нагрузок на провод от внешних воздействий

Трасса сооружаемой воздушной линии электропередачи 220 кВ проходит по лесостепной, ненаселённой местности, относящейся ко 1 району по гололёду и ко 3 району по ветровой нагрузке. На унифицированных свободностоящих стальных опорах типа П220-2 смонтированы провода марки АС-330/43. Рассчитать механические нагрузки на провода линии, если промежуточный пролёт $l = 400$ м.

Основой для районирования по ветровому давлению служат значения максимальных скоростей ветра с 10-минутным интервалом осреднения скоростей на высоте 10 м с повторяемостью 1 раз в 25 лет. Районирование по гололёду производится по максимальной толщине стенки отложения гололеда цилиндрической формы при плотности $0,9$ г/см³ на проводе диаметром 10 мм, расположенном на высоте 10 м над поверхностью земли, повторяемостью 1 раз в 25 лет [1, п.2.5.38].

Для определения нагрузок действующих на провод следует выбрать технические данные провода в соответствии с табл. 1.50 [2, с. 55-56]. Технические данные приведены в табл.4.

Таблица 4 – Технические данные провода АС-330/43

Параметры	Проводник	Сердечник	Провод
Сечение, мм ²	332	43,1	375,1
Диаметр, мм	-	8,4	25,2
Масса, кг/км	-	-	1255

Нормативное ветровое давление W_0 принимается согласно табл. 2.5.1 [1]:

$$W_0 = 650 \text{ Па (скорость ветра } v_0 = 32 \text{ м/с)}$$

Нормативная толщина стенки гололеда b_0 для высоты 10 м над поверхностью земли принимается согласно табл. 2.5.3 [1]:

$$b_0 = 10 \text{ мм}$$

1) Постоянно действующая нагрузка от собственного веса на один метр провода:

$$P_n = M_n \cdot g \cdot 10^{-3} = 1255 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 12,29 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_n = \frac{P_n}{F_{np}} = \frac{12,29}{375,1} = 0,0328 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

2) Нормативная временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений на один метр провода:

$$P_n^H = \pi \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_o \cdot (d_n + K_i \cdot K_d \cdot b_o) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}$$

K_i, K_d – коэффициенты, учитывающие изменения толщины стенки гололёда по высоте и в зависимости от диаметра провода, определяются по табл. 2.5.4 [1].

Для дальнейших расчётов была выбрана унифицированная свободностоящая опора типа Р2 [3].

Согласно п. 2.5.44 [1] высота расположения приведенного центра тяжести проводов или тросов h_{np} для габаритного пролета определяется по формуле, м:

$$h_{np} = h_{cp} - \frac{2}{3} \cdot f,$$

где h_{cp} - среднеарифметическое значение высоты крепления проводов к изоляторам или среднеарифметическое значение высоты крепления тросов к опоре, отсчитываемое от отметок земли в местах установки опор, м;

f - стрела провеса провода или троса в середине пролета при высшей температуре, м.

$$h_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^i H_{np}^i}{n} = \frac{27,0}{1} = 27,0 \text{ м}.$$

Стрела провеса при среднеэксплуатационных условиях:

$$f = \frac{\gamma_n \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{co}}$$

Согласно таблице 4 провод марки АС 330/43 имеет поперечное сечение проводника $F_{AL}=332$ мм, сердечника – $F_{ст}=43,1$ мм. Отношение площадей поперечных сечений равно:

$$\frac{F_{AL}}{F_{ст}} = \frac{332}{43,1} = 7,8$$

Для этого отношения по табл. 2.5.7 [1] допустимое механическое напряжение σ равно 84 Н/мм².

Среднеэксплуатационные условия работы провода характеризуются постоянной нагрузкой на провод γ_{np} .

Провод монтируется на опорах Р2. Промежуточные пролёты согласно табл. 1.36 [4] находятся в пределах 450-315 м. Примем длину пролёта $l = 400$ м, тогда

$$f = \frac{\gamma_n \cdot l^2}{8 \cdot \sigma} = \frac{0,0328 \cdot 400^2}{8 \cdot 84} = 7,81 \text{ м}$$

$$h_{np} = h_{ср} - \frac{2}{3} \cdot f = 27,0 - \frac{2}{3} \cdot 7,81 = 22 \text{ м}$$

При высоте расположения приведенного центра тяжести проводов или тросов до 25 м поправки на толщину стенки гололеда на проводах и тросах в зависимости от высоты и диаметра проводов и тросов не вводятся [1, п.2.5.49].

$$K_d = 0,85.$$

$$P_{ин}^{II} = \pi \cdot K_d \cdot b_n \cdot (d_n + K_d \cdot b_n) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ = 3,14 \cdot 0,85 \cdot 10 \cdot (25,2 + 0,85 \cdot 10) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 7,933 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{ин}^{II} = \frac{P_{ин}^{II}}{F_{np}} = \frac{7,933}{375,1} = 0,021 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

3) Нормативная временно действующая нагрузка от давления ветра на один метр провода (провод, свободный от гололеда):

$$P_{вн}^{II} = \alpha_w \cdot K_L \cdot K_w \cdot C_x \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ = 0,7 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 1,1 \cdot 650 \cdot 25,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 16,78 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{вн}^{II} = \frac{P_{вн}^{II}}{F_{np}} = \frac{16,78}{375,1} = 0,045 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

α_w – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролёту ВЛ и зависящий от ветрового давления. Определяется согласно п.2.5.52 [1] $\alpha_w = 0,7$.

K_L – коэффициент, учитывающий влияние длины пролёта на ветровую нагрузку. Определяется согласно п.2.5.52 [1] $K_L = 1$.

K_w – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности. Определяется согласно п. 2.5.52, табл. 2.5.2 [1]. Местность А – лесостепь, $K_w = 1,33$.

C_x – коэффициент лобового сопротивления. Для проводов, свободных от гололёда диаметром 20 мм и более $C_x = 1,1$ согласно п.2.5.52 [1].

W – нормативное ветровое давление, Па.

F – площадь продольного диаметрального сечения провода, мм^2 , $F = d_n^2 \cdot 10^{-3}$

φ – угол между направлением ветра и осью ВЛ, для упрощения расчётов примем равным 90° .

4) Нормативная временно действующая нагрузка от давления ветра (провод с гололедом) на один метр провода:

$$P_{wn}^{II} = \alpha_w \cdot K_L \cdot K_w \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ = 0,7 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot 650 \cdot 44,58 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 8,093 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{wn}^{II} = \frac{P_{wn}^{II}}{F_{np}} = \frac{8,093}{375,1} = 0,022 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

$C_x = 1,2$ согласно п 2.5.52 [1].

$$F = (d_n + 2 \cdot K_f \cdot K_d \cdot b_o) \cdot 10^{-3} = (25,2 + 2 \cdot 1,14 \cdot 0,85 \cdot 10) \cdot 10^{-3} = 44,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

5) Расчётная временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений на один метр провода:

$$P_{in} = P_{in}^{II} \cdot \gamma_{in} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d = 7,933 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 6,703 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{in} = \frac{P_{in}}{F_{np}} = \frac{6,703}{375,1} = 0,018 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

$\gamma_{in} = 1,3$ – коэффициент надёжности и ответственности, принимаемый согласно п. 2.5.55 [1];

$\gamma_p = 1$ – региональный коэффициент, значение которого принимается на основании опыта эксплуатации и указывается в задании на проектирование ВЛ, согласно п. 2.5.55 [1];

$\gamma_f = 1,3$ – коэффициент надёжности по гололёдной нагрузке, принимаемый 1,3 для районов по гололеду I и II;

$\gamma_d = 0,5$ – коэффициент условий работы.

6) Расчётная временно действующая нагрузка от давления ветра на один метр провода (провод, свободный от гололеда):

$$P_{wn} = P_{wn}^{II} \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 16,78 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 20,304 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{wn} = \frac{P_{wn}}{F_{np}} = \frac{20,304}{375,1} = 0,054 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

$\gamma_{nw} = 1,1$ – коэффициент надёжности и ответственности, принимаемый согласно п. 2.5.54 [1];

$\gamma_p = 1$ – региональный коэффициент, значение которого принимается на основании опыта эксплуатации и указывается в задании на проектирование ВЛ, согласно п. 2.5.54 [1];

$\gamma_f = 1,1$ – коэффициент надёжности по гололёдной нагрузке, принимаемый 1,1.

7) Расчётная временно действующая нагрузка от давления ветра на один метр провода (провод с гололедом):

$$P_{wn} = P_{wn}^{II} \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 8,093 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 9,793 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{wn} = \frac{P_{wn}}{F_{np}} = \frac{9,793}{375,1} = 0,026 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

8) Результирующая нагрузка от массы провода и массы гололеда:

$$P_{\Sigma 1} = P_n + P_{en} = 12,29 + 6,703 = 18,993 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma 1}}{F_{np}} = \frac{18,993}{375,1} = 0,051 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

9) Результирующая нагрузка от собственной массы провода и давления ветра:

$$P_{\Sigma 2} = \sqrt{P_n^2 + P_{wn}^2} = \sqrt{12,29^2 + 20,304^2} = 23,734 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma 2}}{F_{np}} = \frac{23,734}{375,1} = 0,063 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

10) Результирующая нагрузка от массы провода с гололедом и давления ветра:

$$P_{\Sigma 3} = \sqrt{P_{\Sigma 1}^2 + P_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{18,993^2 + 9,793^2} = 21,37 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{P_{\Sigma 3}}{F_{np}} = \frac{21,37}{375,1} = 0,057 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$$

Таким, образом, при сравнении значений результирующих нагрузок видно, что наибольшая – действующая от собственной массы провода и давления ветра. Следовательно, в дальнейших расчётах принимаем, что

$$\gamma_{ис} = \gamma_{\Sigma 2} = 0,063 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Список литературы:

1. Правила устройства электроустановок (все действующие разделы). – 6 и 7-е изд. – Новосибирск: Норматика, 2014. – 464 с. – Кодексы. Законы. Нормы. – ISBN 978-5-4374-0385-3.
2. Гологорский Е.Г., Кравцов А.Н., Узелков Б.М. Справочник по строительству и реконструкции линий электропередачи напряжением 0,4–500 кВ. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 344 с.
3. Документация для проектирования. Схемы опор