

Исходные данные

Константы:

$\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$ - Плотность льда.
 $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ - Ускорение свободного падения.
 $\varphi = 90^\circ$ - Угол между направлением ветра и осью ВЛ.

Местность и климатические условия:

Тип местности: Ненаселенная (ПУЭ 2.5.5)
Тип местности по ветру: В (ПУЭ 2.5.6)
Район по ветру: 3
Район по гололеду: 4

$W_0 = 650 \text{ Па}$ - Нормативное ветровое давление на высоте 10 м над поверхностью земли (ПУЭ 2.5.41, табл.2.5.1).

$W_r = 200 \text{ Па}$ - Нормативное ветровое давление при гололеде (ПУЭ 2.5.43).

$b_a = 25 \text{ мм}$ - Нормативная толщина стенки гололеда (ПУЭ 2.5.46).

$b_y = 25 \text{ мм}$ - Условная толщина стенки гололеда (ПУЭ 2.5.48). При отсутствии региональных карт и данных наблюдений $b_y = b_a$.

$t_{сг} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ - Среднегодовая температура воздуха.

$t_{min} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ - Минимальная температура воздуха.

$t_{max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ - Максимальная температура воздуха.

$t_{w0} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ - Температура воздуха при нормативном ветровом давлении W_0 (ПУЭ 2.5.51).

$t_r = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ - Температура воздуха при гололеде (ПУЭ 2.5.51, для высотных отметок местности $< 1000 \text{ м}$).

Коэффициенты, не зависящие от конструктива опор ВЛ:

$k_w = 0,65$ - Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности (ПУЭ 2.5.44, табл. 2.5.2).

$k_i = 1$ - Коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте и от типа местности (ПУЭ 2.5.49, табл.2.5.4)

$k_i = 1$ при высоте приведенного центра тяжести проводов или тросов до 25 м.

$k_d = 1$ - Коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависим. от диам. провода (ПУЭ 2.5.49, табл.2.5.4)

$k_d = 1$ при высоте приведенного центра тяжести проводов или тросов до 25 м.

$\gamma_{pw} = 1$ - Региональный коэффициент, принимаемый от 1 до 1,3 (ПУЭ 2.5.54). Принимается по заданию на проектирование. При отсутствии указаний = 1.

$\gamma_{pr} = 1$ - Региональный коэффициент, принимаемый от 1 до 1,5 (ПУЭ 2.5.55) Принимается по заданию на проектирование. При отсутствии указаний = 1.

$\gamma_{fw} = 1,1$ - Коэффициент надежности по ветровой нагрузке, равный 1,1 (ПУЭ 2.5.54).

$\gamma_{fi} = 1,6$ - Коэффициент надежности по гололедной нагрузке (ПУЭ 2.5.55, 2.5.65)

1,3 - для районов по гололеду I и II;

1,6 - для районов по гололеду III и выше.

$\gamma_d = 0,5$ - Коэффициент условий работы, равный 0,5 (ПУЭ 2.5.55).

$\gamma_{d_арм} = 1$ - Коэффициент условий работы для выбора изоляторов и арматуры (ПУЭ 2.5.100)

1,4 - для ВЛ, проходящих в районах с $t_{сг} \leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$ или $t_{min} \leq -50 \text{ }^\circ\text{C}$;

1 - для остальных ВЛ

$\gamma_{м_анк} = 2,5$ - Коэффициент надежности по материалу для выбора анкерного зажима (ПУЭ 2.5.101)

$\gamma_{м_крюк} = 1,1$ - Коэффициент надежности по материалу для выбора крюков и штырей (ПУЭ 2.5.101)

Промежуточная опора

СД9,5-5М - Марка стойки

$M_{ст} = 33000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ - Расчетный изгибающий момент стойки на уровне земли.

$H_{ст} = 9,5 \text{ м}$ - Общая длина стойки.

$H_1 = 0 \text{ м}$ - Глубина заделки стойки (по чертежу опоры).

$H = H_{ст} - H_1 = 9,5 - 0 = 9,5 \text{ м}$ - Высота надземной части стойки.

$A = 2,07 \text{ м}^2$ - Площадь надземной части стойки с наветренной стороны.

$G_1 = 367,2 \text{ кг}$ - Масса надземной части стойки.

$f = 0,6 \text{ м}$ - Прогиб стойки на уровне ее вершины.

$f_1 = 0,4 \cdot f = 0,4 \cdot 0,6 = 0,24 \text{ м}$ - Прогиб стойки на уровне $H/2$.

$\beta = 0$ - Коэффициент для нормативной пульсационной составляющей ветровой нагрузки (ПУЭ 2.5.60).

$C_{x0} = 0,8$ - Аэродинамический коэффициент для стойки (Табл.1 МП)

2 - для стоек прямоугольного сечения

0,8 - для стоек круглого сечения.

Характеристики подвешиваемых проводников

		Проводники магистрали
Марка		АС 120/19
Диаметр с изоляцией, мм	d	15,2
Масса, кг/км	m	471
Суммарное сечение несущих жил, мм²	S	136,8
Модуль упругости (ПУЭ, табл.2.5.8), Н/мм²	E	82500
Температурный к-т линейного удлинения (ПУЭ 2.5.84, табл.2.5.8), 1/°С	α	1,92E-05
Коэффициент лобового сопротивления без гололеда (ПУЭ 2.5.52)	C_x	1,2
Коэффициент лобового сопротивления для проводов и тросов покрытых гололедом (ПУЭ 2.5.52)	$C_{хг}$	1,2
Допустимые тяжения, кН, и напряжения, Н/мм²:		
При наибольшей нагрузке и низшей температуре	T_{\max} σ_{\max}	16,6084 121,4
При среднегодовой температуре (ПУЭ 2.5.83, табл. 2.5.7)	$T_{\max_сг}$ $\sigma_{\max_сг}$	12,4563 91,1
При среднегодовой температуре, при котором не требуется защита от вибрации (ПУЭ 2.5.85, табл. 2.5.10)	$T_{\max_сг_вибр}$ $\sigma_{\max_сг_вибр}$	6,156 45
Лимит, заданный проектировщиком	T_n σ_n	7 51,2
Итоговое допустимое тяжение в режимах наибольшей нагрузки и низшей температуры, $\min(T_{\max}, T_n)$	$T_{р_доп}$ $\sigma_{р_доп}$	7 51,2
Итоговое допустимое тяжение в режиме среднегодовой температуры, $\min(T_{\max_сг}, T_{\max_сг_вибр}, T_n)$	$T_{сг_доп}$ $\sigma_{сг_доп}$	6,156 45
Высота подвески на опоре, м	h	7
Допустимый габарит до земли в населенной местности, м	Г	7
Допустимый габарит до земли в ненаселенной местности, м	Г	6
Пролет ответвления, м		-
Требования к арматуре в нормальном режиме работы ВЛ:		
МРН анкерного зажима не менее, кН $T_{р_доп} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_{d_анк} \cdot \gamma_{d_арм} = T_{р_доп} \cdot 2,5 \cdot 1$		17,5

МРН крюков и штырей (F _x -вдоль оси ВЛ) не менее, кН $T_{p_доп} \cdot \gamma_{м_крюк} \cdot \gamma_{d_арм} = T_{p_доп} \cdot 1,1 \cdot 1$		7,7
---	--	-----

Таблица тяжений в установившемся режиме

АС 120/19

Район по ветру: 3 (650 Па)

Район по гололеду: 4 (25 мм)

Высота подвески: 7 м

Максимальное (нормативное) тяжение проводника:

- в режимах наибольшей нагрузки и низшей температуры:

$$T_{p_доп} = 7000 \text{ Н}; \sigma_{p_доп} = T_{p_доп}/S = 51,2 \text{ Н/мм}^2.$$

- в режиме среднегодовой температуры:

$$T_{сг_доп} = 6156 \text{ Н}; \sigma_{сг_доп} = T_{сг_доп}/S = 45 \text{ Н/мм}^2.$$

Пролет, м	Тяжение проводника, Н							Тяжение проводника, Н, при температуре, °С														
	Режим	ВГ	В	-5Г	tmin -40	tсг 0	tmax +40	-40	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	-5Г
20	tmin	5328	2181	4933	7000	1172	603	7000	3023	2276	1741	1395	1172	1020	912	830	765	714	671	634	603	4933
22	tmin	5685	2332	5264	7000	1265	662	7000	3079	2357	1838	1494	1265	1108	993	905	837	781	734	695	662	5264
24	tmin	6032	2477	5586	7000	1356	719	7000	3136	2437	1931	1588	1356	1193	1072	980	907	847	798	755	719	5586
26	tmin	6368	2618	5897	7000	1444	776	7000	3193	2516	2021	1680	1444	1276	1151	1054	976	913	860	815	776	5897
28	tmin	6695	2755	6200	7000	1530	833	7000	3250	2592	2108	1769	1530	1357	1227	1126	1045	978	922	874	833	6200
30	Pmax	7000	2875	6482	6958	1606	888	6958	3278	2645	2177	1844	1606	1431	1298	1193	1109	1040	981	931	888	6482

Расчет габаритного пролета

$\gamma_{nw} = 1$ - Коэффициент надежности по ответственности (для расчета ветровой нагрузки)(ПУЭ 2.5.54)

$\gamma_{ng} = 1$ - Коэффициент надежности по ответственности (для расчета гололедной нагрузки)(ПУЭ 2.5.55)

Увеличиваем пролет с шагом 1 м до тех пор, пока соблюдаются габариты сближения.

$L_{габ.} = L_{прив.} = 41$ м - Ожидаемая величина пролета

АС 120/19

$f_{max} = h - \Gamma = 7 - 6 = 1$ м - Допустимая стрела провеса

$a_{w0} = 0,7$ - Коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ (ПУЭ 2.5.52).

$a_{wg} = 1$ - Коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ (ПУЭ 2.5.52).

Нормативные нагрузки:

2) От гололеда (ПУЭ 2.5.53):

$$P_{ng} = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_3 \cdot (d + k_i \cdot k_d \cdot b_3) \cdot \rho \cdot g = \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,025 \cdot (0,0152 + 1 \cdot 1 \cdot 0,025) \cdot 900 \cdot 9,80665 = 27,87 \text{ Н/м.}$$

4) От ветра без гололеда (ПУЭ 2.5.52):

$$P_{w0} = a_{w0} \cdot k_i \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_0 \cdot d \cdot \sin^2 \varphi = 0,7 \cdot 1,2 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 650 \cdot 0,0152 \cdot \sin^2(\pi/2) = 6,47 \text{ Н/м.}$$

5) От ветра при гололеде (ПУЭ 2.5.52):

$$P_{wg} = a_{wg} \cdot k_i \cdot k_w \cdot C_{xg} \cdot W_g \cdot (d + 2 \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_y) \cdot \sin^2 \varphi = 1 \cdot 1,2 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 200 \cdot (0,0152 + 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,025) \cdot \sin^2(\pi/2) = 12,21 \text{ Н/м.}$$

Расчетные нагрузки:

1) От собственного веса:

$$P_1 = m \cdot g = 0,471 \cdot 9,80665 = 4,62 \text{ Н/м.}$$

2) Расчетная линейная гололедная нагрузка (ПУЭ 2.5.55):

$$P_g = P_{ng} \cdot \gamma_{ng} \cdot \gamma_{pr} \cdot \gamma_{fi} \cdot \gamma_d = 27,87 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,5 = 22,29 \text{ Н/м.}$$

3) От веса провода/кабеля, покрытого гололедом:

$$P_3 = P_1 + P_g = 4,62 + 22,29 = 26,91 \text{ Н/м.}$$

4) Расчетная ветровая нагрузка без гололеда (ПУЭ 2.5.54):

$$P_{w0} = P_{w0} \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_{pw} \cdot \gamma_{fw} = 6,47 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 7,12 \text{ Н/м.}$$

5) Расчетная ветровая нагрузка при гололеде(ПУЭ 2.5.54):

$$P_{wg} = P_{wg} \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_{pw} \cdot \gamma_{fw} = 12,21 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 13,43 \text{ Н/м.}$$

6) От веса провода и давления ветра на провод, свободный от гололеда:

$$P_6 = \sqrt{(P_1^2 + P_{w0}^2)} = \sqrt{(4,62^2 + 7,12^2)} = 8,49 \text{ Н/м.}$$

7) От веса провода с гололедом и давления ветра на него:

$$P_7 = \sqrt{(P_3^2 + P_{wg}^2)} = \sqrt{(26,91^2 + 13,43^2)} = 30,08 \text{ Н/м.}$$

Удельные нагрузки:

$$1) \gamma_1 = P_1/S = 4,62/136,8 = 0,03 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$2) \gamma_g = P_g/S = 22,29/136,8 = 0,16 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$3) \gamma_3 = P_3/S = 26,91/136,8 = 0,2 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$4) \gamma_{w0} = P_{w0}/S = 7,12/136,8 = 0,05 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$5) \gamma_{wg} = P_{wg}/S = 13,43/136,8 = 0,1 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$6) \gamma_6 = P_6/S = 8,49/136,8 = 0,06 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$7) \gamma_7 = P_7/S = 30,08/136,8 = 0,22 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

Определим какой из режимов 6 или 7 будет режимом наибольшей нагрузки:

$$\gamma_7 > \gamma_6$$

$$t_{pmax} = t_g = -5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma_{pmax} = \gamma_7 = 0,22 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

Допустимое тяжение в режимах наибольшей нагрузки и низшей температуры:

$$T_{p_доп} = \min(T_{max}, T_n) = \min(16608,4, 7000) = 7000 \text{ Н.}$$

$$\sigma_{p_доп} = T_{p_доп}/S = 7000/136,8 = 51,17 \text{ Н/мм}^2.$$

Допустимое тяжение в режиме среднегодовой температуры

$$T_{сг_доп} = \min(T_{max_сг_вибр}, T_{max_сг}, T_n) = \min(6156, 12456,3, 7000) = 6156 \text{ Н.}$$

$$\sigma_{сг_доп} = T_{сг_доп}/S = 6156/136,8 = 45 \text{ Н/мм}^2.$$

Выбор исходного режима

Условия для выбора:

$$\sigma_{сг} \leq \sigma_{сг_доп}; \quad \sigma_{сг} \leq 45 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{pmax} \leq \sigma_{p_доп}; \quad \sigma_{pmax} \leq 51,17 \text{ Н/мм}^2$$

Предполагаем режим низшей температуры в качестве исходного:

$$t_0 = t_{min} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_0 = \sigma_{p_доп} = 51,17 \text{ Н/мм}^2$$

$$\gamma_0 = \gamma_1 = 0,03 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

Из уравнения состояния провода находим $\sigma_{сг}$:

$$t = t_{сг} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = \gamma_1 = 0,03 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$$

$$\sigma_{сг} = 14,91 \text{ Н/мм}^2$$

Из уравнения состояния провода находим σ_{pmax} :

$t = t_{pmax} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\gamma = \gamma_{pmax} = 0,22 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}$
 $\sigma_{pmax} = 63,18 \text{ Н/мм}^2$
 Условие не выполняется.

Предполагаем режим наибольшей нагрузки в качестве исходного:

$t_0 = t_{pmax} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\sigma_0 = \sigma_{p_доп} = 51,17 \text{ Н/мм}^2$
 $\gamma_0 = \gamma_{pmax} = 0,22 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}$

Из уравнения состояния провода находим σ_{cr} :

$t = t_{cr} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\gamma = \gamma_1 = 0,03 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}$
 $\sigma_{cr} = 9,5 \text{ Н/мм}^2$

Из уравнения состояния провода находим σ_{tmin} :

$t = t_{min} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\gamma = \gamma_1 = 0,03 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}$
 $\sigma_{tmin} = 18,73 \text{ Н/мм}^2$

Условие выполняется. Исходный режим - режим наибольшей нагрузки

Систематический расчет

Из уравнения состояния находим характеристики АС 120/19 в нормальном режиме для сочетаний климатических условий по ПУЭ 2.5.71:

Сочетание климатических условий	t, °C	γ, Н/(м·мм²)	σ, Н/мм²	T, Н	f, м
ВГ (Рmax)	-5	0,22	51,17	7000	0,9
В	-5	0,06	17,46	2388,65	0,75
(-5)Г	-5	0,2	46,76	6397,29	0,88
tmin	-40	0,03	18,73	2561,85	0,38
tcr	0	0,03	9,5	1300,23	0,75
tmax	40	0,03	7,02	959,91	1,01
t+15	15	0,03	8,31	1136,28	0,85

Итого габаритный пролёт:

$L_{габ.} = 41 \text{ м}$

Решающий фактор - предельный габарит от АС 120/19 до земли

Расчет ветрового пролета

$\gamma_{fhec1} = 1,05$ - Коэффициент надежности по весовой нагрузке = 1,05 для проводов, изоляторов, арматуры (ПУЭ 2.5.69)
 $\gamma_{fhec2} = 1,1$ - Коэффициент надежности по весовой нагрузке = 1,1 - для конструкций опор (МП1 табл.1, ПУЭ 2.5.69)
 $\gamma_{fw_оп} = 1,3$ - Коэффициент надежности по ветровой нагрузке (для расчетов по ПУЭ 2.5.62, 2.5.63)
 $\gamma_{d_оп} = 1$ - Коэффициент условий работы (ПУЭ 2.5.65)
 $\gamma_{nw} = 1$ - Коэффициент надежности по ответственности (для расчета ветровой нагрузки)(ПУЭ 2.4.11/2.5.54)
 $\gamma_{nr} = 1$ - Коэффициент надежности по ответственности (для расчета гололедной нагрузки)(ПУЭ 2.4.11/2.5.55)
 $H_0 = 0,4$ м - Отметка ниже поверхности земли, где находится расчетное сечение стойки и действует максимальный изгибающий момент (Крюков, Новгородцев, стр. 130)

$M_1 = g \cdot G_1 \cdot f_1 = 9,81 \cdot 367,2 \cdot 0,24 = 864,24$ Н·м - Момент от веса надземной части стойки на её прогибе
 $M_2 = \Sigma(g \cdot m \cdot F) = 0$ Н·м - Момент от веса таверс и арматуры на прогибе опоры
 $M_g = \gamma_{fhec2} \cdot (M_1 + M_2) = 1,1 \cdot (864,24 + 0) = 950,66$ Н·м - Суммарный момент от веса стойки, таверс и арматуры на прогибе опоры

1) Ветровой пролёт в режиме ветрового давления W_0 , гололёд отсутствует:

Момент от тяжения проводов ответвления к вводу:

$\Sigma M_b = 0$ Н·м - Суммарный момент от тяжения проводов ответвления к вводу, воспринимаемый опорой

Момент от ветровой нагрузки на стойку:

$Q_{nc1} = k_w \cdot W_0 \cdot C_{x0} \cdot A = 0,65 \cdot 650 \cdot 0,8 \cdot 2,07 = 699,66$ Н - Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки на опору (ПУЭ 2.5.59)

$Q_{np1} = \beta \cdot Q_{nc1} = 0 \cdot 699,66 = 0$ Н - Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки (ПУЭ 2.5.60)

$Q_{w01} = (Q_{nc1} + Q_{np1}) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_{pw} \cdot \gamma_{fw_оп} = (699,66 + 0) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 909,56$ Н - Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры (ПУЭ 2.5.63)

$M_{01} = Q_{w01} \cdot (H + H_0) / 2 = 909,56 \cdot (9,5 + 0,4) / 2 = 4502,31$ Н·м - Момент от ветровой нагрузки на стойку

Итерационно увеличиваем пролет до тех пор пока момент от нагрузок не будет приближенно равен моменту стойки:

$L = 498$ м - ожидаемая величина пролета

$L_{вес} = 1,25 \cdot L = 1,25 \cdot 498 = 622,5$ м - Весовой пролет с 25% запасом на рельеф местности

Моменты от ветровой и весовой нагрузки:

Фидер 1, АС 120/19

$P_{w0n} = a_{w0} \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_0 \cdot d \cdot \sin^2 \varphi = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 650 \cdot 0,0152 \cdot 1 = 5,39$ Н/м - Нормативная нагрузка от ветра без гололеда (ПУЭ 2.5.52)

$P_{w0_оп} = P_{w0n} \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_{pw} \cdot \gamma_{fw_оп} = 5,39 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 7,01$ Н/м - Расчетная ветровая нагрузка, воспринимаемая опорой (ПУЭ 2.5.62)

$P_{II} = m \cdot g \cdot \gamma_{fhec1} = 0,471 \cdot 9,81 \cdot 1,05 = 4,85$ Н/м - Расчетная нагрузка на опору ВЛ от веса АС 120/19 (ПУЭ 2.5.69)

$F = 0,55$ м - Плечо от весовой нагрузки АС 120/19 на прогибе опоры

$M_w = P_{w0_оп} \cdot L \cdot (H + H_0) = 7,01 \cdot 498 \cdot (7 + 0,4) = 25843,66$ Н·м - Момент от ветровой нагрузки на АС 120/19, воспринимаемый опорой

$M_{II} = P_{II} \cdot L_{вес} \cdot F = 4,85 \cdot 622,5 \cdot 0,55 = 1655,35$ Н·м - Момент от весовой нагрузки АС 120/19, воспринимаемый опорой

$M_{p1} = \Sigma M_w + \Sigma M_{II} + M_{01} + M_g + \Sigma M_b = 25843,66 + 1655,35 + 4502,31 + 950,66 + 0 = 32951,98$ Н·м - Суммарный момент, действующий на стойку

$L_{в1} = 498$ м - Ветровой пролёт в режиме ветрового давления W_0 , гололёд отсутствует

2) Ветровой пролёт в режиме ветрового давления W_g на проводники, покрытые гололедом:

Момент от тяжения проводов ответвления к вводу:

$\Sigma M_b = 0$ Н·м - Суммарный момент от тяжения проводов ответвления к вводу, воспринимаемый опорой

Момент от ветровой нагрузки на стойку:

$Q_{nc2} = k_w \cdot W_g \cdot C_{x0} \cdot A = 0,65 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 2,07 = 215,28$ Н - Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки на опору (ПУЭ 2.5.59)

$Q_{np2} = \beta \cdot Q_{nc2} = 0 \cdot 215,28 = 0$ Н - Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки (ПУЭ 2.5.60)

$Q_{w02} = (Q_{nc2} + Q_{np2}) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_{pw} \cdot \gamma_{fw_оп} = (215,28 + 0) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 279,86$ Н - Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры (ПУЭ 2.5.63)

$M_{02} = Q_{w02} \cdot (H + H_0) / 2 = 279,86 \cdot (9,5 + 0,4) / 2 = 1385,33$ Н·м - Момент от ветровой нагрузки на стойку

Итерационно увеличиваем пролет до тех пор пока момент от нагрузок не будет приближенно равен моменту стойки:

$L = 231$ м - ожидаемая величина пролета

$L_{вес} = 1,25 \cdot L = 1,25 \cdot 231 = 288,75$ м - Весовой пролет с 25% запасом на рельеф местности

Моменты от ветровой и весовой нагрузки:

Фидер 1, АС 120/19

$P_{\text{вгн}} = a_{\text{вг}} \cdot k_i \cdot k_w \cdot C_{\text{хг}} \cdot W_r \cdot (d + 2 \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_y) \cdot \sin^2 \varphi = 1 \cdot 1,0095 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 200 \cdot (0,0152 + 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,025) \cdot 1 = 10,27 \text{ Н/м}$ - Нормативная нагрузка от ветра при гололеде (ПУЭ 2.5.52)

$P_{\text{вг,оп}} = P_{\text{вгн}} \cdot \gamma_{\text{пв}} \cdot \gamma_{\text{рв}} \cdot \gamma_{\text{фв,оп}} = 10,27 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 13,35 \text{ Н/м}$ - Расчетная ветровая нагрузка на АС 120/19, воспринимаемая опорой (ПУЭ 2.5.62)

$P_{\text{п}} = m \cdot g \cdot \gamma_{\text{вссл}} = 0,471 \cdot 9,81 \cdot 1,05 = 4,85 \text{ Н/м}$ - Расчетная нагрузка на опору ВЛ от веса АС 120/19 (ПУЭ 2.5.69)

$P_{\text{го}} = P_{\text{гн}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_{\text{рг}} \cdot \gamma_{\text{фг}} \cdot \gamma_{\text{д,оп}} = 27,87 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1 = 44,59 \text{ Н/м}$ - Расчетная линейная гололедная нагрузка на 1 м АС 120/19, воспринимаемая опорами (ПУЭ 2.5.65)

$F = 0,55 \text{ м}$ - Плечо от весовой нагрузки АС 120/19 на прогибе опоры

$M_{\text{вг}} = P_{\text{вг,оп}} \cdot L \cdot (H + H_0) = 13,35 \cdot 231 \cdot (7 + 0,4) = 22817,37 \text{ Н}\cdot\text{м}$ - Момент от ветровой нагрузки на АС 120/19, воспринимаемый опорой

$M_{\text{пг}} = (P_{\text{п}} + P_{\text{го}}) \cdot L_{\text{вссл}} \cdot F = (4,85 + 44,59) \cdot 288,75 \cdot 0,55 = 7826,79 \text{ Н}\cdot\text{м}$ - Момент от весовой нагрузки АС 120/19, воспринимаемый опорой

$M_{\text{р2}} = \Sigma M_{\text{вг}} + \Sigma M_{\text{пг}} + M_{02} + M_{\text{г}} + \Sigma M_{\text{б}} = 22817,37 + 7826,79 + 1385,33 + 950,66 + 0 = 32980,15 \text{ Н}\cdot\text{м}$ - Суммарный момент, действующий на стойку

$L_{\text{в2}} = 231 \text{ м}$ - Ветровой пролёт в режиме ветра $W_{\text{г}}$ с гололедом

Итого ветровой пролёт:

$L_{\text{в}} = \min(L_{\text{в1}}; L_{\text{в2}}) = \min(498; 231) = 231 \text{ м}$