

Расчет и проектирование воздушных линий электропередач

Содержание

Введение. 3

1 Исходные данные. 4

2 Определение физико-механических характеристик провода и троса. 5

3 Выбор унифицированной опоры.. 7

4 Расчет проводов и троса на механическую прочность. 9

4.1 Определение толщина стенки гололеда и величины скоростного напора ветра 9

4.2 Определение удельных нагрузок на провод и трос. 11

4.3 Расчет критических пролетов. 13

4.4 Расчет напряжений в проводе. 15

4.5 Определение стрелы провеса проводов и троса. 17

4.6 Определение напряжений в тросе. 18

5 Выбор изоляторов и линейной арматуры.. 21

6 Расстановка опор по профилю трассы.. 28

6.1 Построение шаблона. 28

6.2 Проверка опор на прочность. 31

7 Расчет монтажных стрел провеса провода и троса. 34

Заключение. 40

Список литературы.. 41

Введение

Проектирование механической части воздушных линий электропередачи является важной частью проектирования электроснабжения. От правильного выбора элементов ЛЭП зависит долговременная и безопасная эксплуатация линий, и, соответственно, надежное и качественное электроснабжение потребителей.

В данном курсовом проекте рассмотрены основные этапы проектирования механической части воздушных ЛЭП: выбор промежуточных опор, механический расчет проводов и грозозащитного троса, выбор линейной арматуры, произведены расстановка опор по профилю трассы и расчет монтажных стрел провеса.

1 Исходные данные

Тип ЛЭП: двухцепная воздушная линия напряжением 110 кВ, проходящая в ненаселенной местности.

Климатические условия:

район по ветру – II;

район по гололеду – IV;

температура:

высшая $t_{\max}=40^{\circ}\text{C}$;
 низшая $t_{\min}= -10^{\circ}\text{C}$;
 среднегодовая $t_{\text{cp}}=5^{\circ}\text{C}$.
 Тип опор: унифицированные железобетонные.
 Марки провода: АС-150.
 Марка грозозащитного троса: ТК-50.
 Материал изоляторов: фарфор
 Степень загрязненности атмосферы I.

2 Определение физико-механических характеристик провода и троса

Физико-механические характеристики провода и троса приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 - Физико-механические характеристики провода АС-150/24

Сечение, мм ² :	
алюминиевой части	149
стальной части	24,2
суммарное F	173,2
Диаметр провода d , мм	17,1
Количество и диаметр проволок, шт×мм:	
алюминиевых	26×2,7
стальных	7×2,1
Количество повивов, шт.	
алюминиевой части	2
стальной части	1
Вес провода G_p , даН/км	600
Модуль упругости E , даН/мм ²	$8,25 \cdot 10^3$
Температурный коэффициент линейного удлинения α , град-1	$19,2 \cdot 10^{-6}$
Предел прочности, даН/мм ²	29
Удельная нагрузка от собственного веса γ_1 , даН/(м×мм ²)	$3,46 \cdot 10^{-3}$
Допустимое напряжение, даН/мм ²	
при среднегодовой температуре $\sigma_{t.\text{cp}}$	8,7
при низшей температуре $\sigma_{t.\text{min}}$	13,0
при наибольшей нагрузке $\sigma_{\gamma \text{ max}}$	13,0

Таблица 2.2 - Физико-механические характеристики троса ТК-50

Сечение, мм ² :	
номинальное	50
фактическое F_t	48,6
Диаметр троса d_t , мм	9,1
Количество и диаметр проволок, шт×мм	19×1,8
Количество повивов, шт.	2
Вес троса G_t , даН/км	417
Модуль упругости E_t , даН/мм ²	$20 \cdot 10^3$
Температурный коэффициент линейного удлинения α_t , град-1	$12 \cdot 10^{-6}$
Предел прочности, даН/мм ²	120
Удельная нагрузка от собственного веса γ_{t1} , даН/(м×мм ²)	$8 \cdot 10^{-3}$
Допустимое напряжение, даН/мм ²	
при среднегодовой температуре $\sigma_{tt.\text{cp}}$	42
при низшей температуре $\sigma_{tt.\text{min}}$	60
	60

3 Выбор унифицированной опоры

По исходным данным выбирается тип унифицированной промежуточной опоры ПБ110-8. Основные размеры опоры показаны на рисунке 3.1, технические характеристики опоры приведены в таблице 3.1.

$H=26,0\text{м}$; $h_1=3,0\text{м}$; $h_2=13,5\text{м}$; $h_3=4,0\text{м}$; $a_1=2,0\text{м}$; $a_2=3,5\text{м}$; $a_3=2,0\text{м}$; $b=3,3\text{м}$

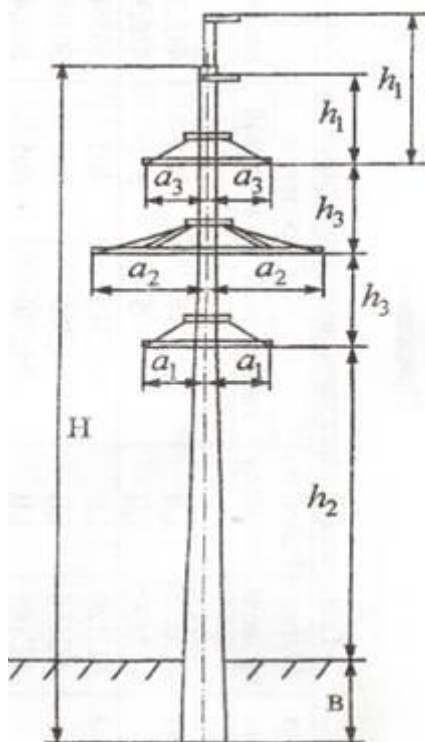


Рисунок 3.1 – Унифицированная железобетонная опора ПБ110-8

Таблица 3.1 – Технические характеристики опоры ПБ110-8

Марка провода	Район по гололеду	Пролет, м			Масса, т
		габаритный	ветровой	весовой	
АС-150	III, IV	225	250	280	7,5

Расчетный пролет, м,

$l_p = \alpha \cdot l_{\text{габ}}$,

где $\alpha=0,9$ для ненаселенной местности;

$l_p = 0,9 \cdot 225 = 202,5$.

4 Расчет проводов и троса на механическую прочность

4.1 Определение толщина стенки гололеда и величины скоростного напора ветра

Средняя высота подвеса проводов на опоре, м,

$$h_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^m h_i}{m} - \lambda, \quad (4.1)$$

где h_i – расстояние от земли до i -ой траверсы опоры, м;

m – количество проводов на опоре;

λ – длина гирлянды изоляторов, м.

Для предварительных расчетов длина гирлянды изоляторов принимается для ВЛ 110 кВ 1,3 м.

$$h_{cp} = \frac{13,5 + 13,5 + (13,5 + 4) + (13,5 + 4) + (13,5 + 4 + 4) + (13,5 + 4 + 4)}{6} - 1,3 = 16,2.$$

Средняя высота подвеса троса на опоре, м,

$$h_{cp}^* = h_2 + 2 \cdot h_3 + h_1, \quad (4.2)$$

$$h_{cp}^* = 13,5 + 2 \cdot 4 + 3 = 24,5.$$

Допустимая стрела провеса провода, м,

$$[f] = h_2 - \lambda - \Gamma, \quad (4.3)$$

где h_2 – расстояние от земли до нижней траверсы, м;

Γ – габаритный размер, м;

$$[f] = 13,5 - 1,3 - 6 = 6,2.$$

Допустимая стрела провеса троса, м,

$[f_T] =$

$$h_{cp}^* - (\Gamma + 2 \cdot h_3 + z), \quad (4.4)$$

где z – наименьшее допустимое расстояние по вертикали между проводом и тросом в середине пролета, м, для $l_p = 202,5$ м $z = 4$;

$$[f_T] = 24,5 - (6 + 2 \cdot 4 + 4) = 6,5.$$

Высота приведенного центра тяжести провода и троса, м,

$$h_{пр} = h_{cp} - \frac{2}{3} [f], \quad (4.5)$$

$$h_{пр} = 16,2 - \frac{2}{3} \cdot 6,2 = 12;$$

$$h_{пр}^* = 24,5 - \frac{2}{3} \cdot 6,5 = 20,2$$

Толщина стенки гололеда для провода и троса, мм,

$$C_{max} = k_{r1} \cdot k_{r2} \cdot C, \quad (4.6)$$

где C – нормативное значение стенки гололеда, мм, (для 2-го района по гололеду $C = 10$ мм);

k_{r1}, k_{r2} – поправочные коэффициенты на высоту и диаметр провода или троса

$$C_{max} = 1 \cdot 0,93 \cdot 10 = 9,3;$$

$$C_{max}^* = 1 \cdot 1,02 \cdot 10 = 10,2.$$

Скоростной напор ветра на провод и трос, даН/м²,

$$q_{max} = q \cdot k_B, \quad (4.7)$$

где q – нормативный скоростной напор ветра, даН/м²;

k_B – поправочный коэффициент;

$$q_{max} = 65 \cdot 1 = 65;$$

$$q_{max}^* = 65 \cdot 1,25 = 81,25.$$

4.2 Определение удельных нагрузок на провод и трос

Удельная нагрузка от собственного веса, даН/(м·мм²), берется из таблиц 2.1 и 2.2:

$$\gamma_1 = 3,46 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_1^* = 8 \cdot 10^{-3}.$$

Удельная нагрузка от веса гололеда, даН/(м·мм²),

$$\gamma_2 = \frac{g_0 \cdot \pi \cdot C_{\max} \cdot (d + C_{\max})}{F}, \quad (4.8)$$

где d – диаметр провода или троса, мм;

F – фактическое сечение провода или троса, мм²;

g₀=0,9·10⁻³ даН/(м·мм²) – плотность гололедных отложений;

$$\gamma_2 = \frac{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 9,3 \cdot (17,1 + 9,3)}{173,2} = 4 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_2^* = \frac{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 10,2 \cdot (9,1 + 10,2)}{48,6} = 11,4 \cdot 10^{-3}.$$

Удельная нагрузка от веса гололеда и собственного веса провода (троса), даН/(м·мм²),

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2, \quad (4.9)$$

$$\gamma_3 = (3,46 + 4) \cdot 10^{-3} = 7,46 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_3^* = (8 + 11,4) \cdot 10^{-3} = 19,4 \cdot 10^{-3}.$$

Удельная нагрузка от давления ветра при отсутствии гололеда, даН/(м·мм²),

$$\gamma_4 = \frac{q_{\max} \cdot k_1 \cdot k_H \cdot C_X \cdot d}{F} \cdot 10^{-3}, \quad (4.10)$$

где k₁ – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку;

k_H – коэффициент, учитывающий неравномерность скоростного напора ветра по пролету;

C_X – коэффициент лобового сопротивления, равный 1,1 – для проводов диаметром 20 мм и более, свободных от гололеда; 1,2 – для всех проводов, покрытых гололедом, и для проводов диаметром меньше 20 мм, свободных от гололеда;

$$\gamma_4 = \frac{65 \cdot 1,024 \cdot 0,725 \cdot 1,2 \cdot 17,1}{173,2} \cdot 10^{-3} = 5,7 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_4^* = \frac{81,25 \cdot 1,024 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 9,1}{48,6} \cdot 10^{-3} = 13,1 \cdot 10^{-3}.$$

Удельная нагрузка от давления ветра на провод и трос при наличии гололеда, даН/(м·мм²),

$$\gamma_5 = \frac{q' \cdot k_1 \cdot k_H \cdot C_X \cdot (d + 2C_{\max})}{F} \cdot 10^{-3}, \quad (4.11)$$

где q'=0,25·q_{max} для районов с толщиной стенки гололеда до 15 мм;

$$\gamma_5 = \frac{0,25 \cdot 65 \cdot 1,024 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot (17,1 + 2 \cdot 9,3)}{173,2} \cdot 10^{-3} = 4,1 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_5^* = \frac{0,25 \cdot 81,25 \cdot 1,024 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot (9,1 + 2 \cdot 10,2)}{48,6} \cdot 10^{-3} = 15,1 \cdot 10^{-3}.$$

Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода (троса) без гололеда, даН/(м·мм²),

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}, \quad (4.12)$$

$$\gamma_6 = \sqrt{3,46^2 + 5,7^2} \cdot 10^{-3} = 6,7 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_6^2 = \sqrt{8^2 + 13,1^2} \cdot 10^{-3} = 15,3 \cdot 10^{-3}.$$

Удельная нагрузка на провод от давления ветра и веса провода, покрытого гололедом, даН/(м·мм²),

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} \quad (4.13)$$

$$\gamma_7 = \sqrt{7,46^2 + 4,1^2} \cdot 10^{-3} = 8,5 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_7^2 = \sqrt{19,4^2 + 15,1^2} \cdot 10^{-3} = 24,6 \cdot 10^{-3}.$$

4.3 Расчет критических пролетов

Первый критический пролет, м,

$$l_{k1} = \frac{2 \cdot [\sigma_{t, \text{cp}}]}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[\frac{1}{E} ([\sigma_{t, \text{cp}}] - [\sigma_{t, \text{min}}]) + \alpha(t_{\text{cp}} - t_{\text{min}}) \right]}{1 - \left(\frac{[\sigma_{t, \text{cp}}]}{[\sigma_{t, \text{min}}]} \right)^2}}, \quad (4.14)$$

где E – модуль упругости, даН/мм²;

α – температурный коэффициент линейного удлинения материала провода, град-1;

l_{k1} =

$$\frac{2 \cdot 8,7}{3,46 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[\frac{10^{-3}}{8,25} (8,7 - 13,0) + 19,2 \cdot 10^{-6} (5 - (-10)) \right]}{1 - \left(\frac{8,7}{13,0} \right)^2}}$$

Выражение под корнем меньше нуля. Первый критический пролет – мнимый.

Второй критический пролет, м,

$$l_{k2} = \frac{2 \cdot [\sigma_{\gamma, \text{max}}]}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \alpha \cdot (t_{\text{гол}} - t_{\text{min}})}{\left(\frac{[\gamma_{\text{max}}]}{[\gamma_1]} \right)^2 - 1}}, \quad (4.15)$$

где $t_{\text{гол}}$ – температура гололеда, равная -5°C;

$\gamma_{\text{max}} = \gamma_7$;

$$l_{k2} = \frac{2 \cdot 13,0}{3,46 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-10))}{\left(\frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{3,46 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - 1}} = 80,4.$$

Третий критический пролет, м,

$$l_{k3} = \frac{2 \cdot [\sigma_{t, \text{max}}]}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[\frac{1}{E} ([\sigma_{\gamma, \text{max}}] - [\sigma_{t, \text{cp}}]) + \alpha(t_{\text{гол}} - t_{\text{cp}}) \right]}{\left(\frac{\gamma_{\text{max}}}{\gamma_1} \right)^2 - \left(\frac{[\sigma_{\gamma, \text{max}}]}{[\sigma_{t, \text{cp}}]} \right)^2}}, \quad (4.16)$$

$$l_{кз} = \frac{2 \cdot 13,0}{3,46 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[\frac{10^{-3}}{8,25} (13,0 - 8,7) + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - 10) \right]}{\left(\frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{3,46 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - \left(\frac{13,0}{8,7} \right)^2}} = 144,2.$$

В результате получается следующее соотношение критических пролетов и расчетного пролета: $l_{к1}$ – мнимый, $l_p = 202,5 \text{ м} > l_{к3} = 144,2 \text{ м}$.

На основании полученных соотношений определяется исходный режим. Это режим максимальной нагрузки с параметрами: $\sigma = [\sigma_{y.\max}] = 13,0 \text{ даН/мм}^2$, $\gamma = \gamma_{\max} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ даН/(м} \cdot \text{мм}^2)$, $t = t_{\text{трл}} = -5^\circ\text{C}$.

4.4 Расчет напряжений в проводе

По уравнению состояния провода рассчитываются напряжения в проводе для режимов среднегодовой температуры – $\sigma_{\text{ср}}$, режима низшей температуры – σ_{tmin} и наибольшей нагрузки – $\sigma_{y.\max}$.

Расчет напряжения в проводе для режима низшей температуры. В уравнение состояния провода подставляются все известные параметры.

$$\sigma_p - \frac{\gamma_p^2 \cdot l_p^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_p^2} = \sigma_{\text{н}} - \frac{\gamma_p^2 \cdot l_p^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\text{н}}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_p - t_{\text{н}}) \quad , (4.17)$$

$$\sigma_{\text{tmin}} - \frac{(3,46 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 202,5^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{\text{tmin}}^2} =$$

$$= 13,0 - \frac{(8,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 202,5^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot 13,0^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (-10 - (-5))$$

Полученное уравнение приводится к виду:

$$\sigma_{\text{tmin}}^3 - 7,766 \sigma_{\text{tmin}}^2 - 168,75 = 0$$

Решение полученного уравнения выполняется итерационным методом касательных. В качестве нулевого приближения принимается значение $\sigma_0 = 10 \text{ даН/мм}^2$.

Производная полученной функции $y =$

$$\sigma_{\text{tmin}}^3 - 7,766 \sigma_{\text{tmin}}^2 - 168,75 :$$

$$y' = 3 \cdot \sigma_{\text{tmin}}^2 - 2 \cdot 7,766 \cdot \sigma_{\text{tmin}}$$

Определяется поправка на первой итерации:

$$\Delta_1 = y(\sigma_0) / y'(\sigma_0),$$

$$\Delta_1 = \frac{10^3 - 7,766 \cdot 10^2 - 168,75}{3 \cdot 10^2 - 2 \cdot 7,766 \cdot 10} = 0,378.$$

Новое значение напряжения:

$$\sigma_1 = \sigma_0 - \Delta_1,$$

$$\sigma_1 = 10 - 0,377 = 9,623.$$

Проверка итерационного процесса. Для этого задается точность расчета $\varepsilon = 0,01 \text{ даН/мм}^2$.

$$0,377 > 0,01,$$

следовательно расчет нужно продолжить, приняв в качестве нового приближения $\sigma = 9,623$.

Поправка на второй итерации:

$$\Delta_2 = \frac{9,623^3 - 7,766 \cdot 9,623^2 - 168,75}{3 \cdot 9,623^2 - 2 \cdot 7,766 \cdot 9,623} = 0,025.$$

Новое значение напряжения:

$$\sigma_2 = 9,623 - 0,025 = 9,598.$$

Выполняется проверка:

$$0,025 > 0,01.$$

Поправка на третьей итерации:

$$\Delta_3 = \frac{9,598^3 - 7,766 \cdot 9,598^2 - 168,75}{3 \cdot 9,598^2 - 2 \cdot 7,766 \cdot 9,598} = 0,00013.$$

Проверка:

$$0,00013 < 0,01,$$

следовательно за искомое выражение σ_{tmin} принимаем σ_3 :

$$\sigma_{tmin} = 9,598 \text{ даН/мм}^2.$$

Расчеты напряжений в проводе для режимов среднегодовой температуры и наибольшей нагрузки выполняются с помощью программы «MERA2». В результате получены следующие значения:

$$\sigma_{ср} = 7,987 \text{ даН/мм}^2;$$

$$\sigma_{уmax} = 12,517 \text{ даН/мм}^2.$$

Выполняется проверка условий механической прочности:

$$\sigma_{ср} \leq [\sigma_{ср}], \quad 7,987 < 8,7;$$

$$\sigma_{tmin} \leq [\sigma_{tmin}], \quad 9,598 < 13,0;$$

$$\sigma_{уmax} \leq [\sigma_{уmax}], \quad 12,517 < 13,0.$$

Условия выполняются, значит механическая прочность проводов будет достаточной для условий проектируемой линии.

По уравнению состояния провода выполняются расчеты напряжений для режимов гололеда без ветра – $\sigma_{гол}$, высшей температуры – $\sigma_{гр}$. Результаты расчетов следующие:

$$\sigma_{tmax} = 5,475 \text{ даН/мм}^2;$$

$$\sigma_{гол} = 12,277 \text{ даН/мм}^2;$$

$$\sigma_{гр} = 7,129 \text{ даН/мм}^2.$$

4.5 Определение стрелы провеса проводов и троса

Определяются стрелы провеса проводов в режиме гололеда без ветра, высшей температуры и грозном режиме, м,

$$f = \frac{\gamma \cdot l^2}{8 \cdot \sigma}, \quad (4.18)$$

$$f_{tmax} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 202,5^2}{8 \cdot 5,475} = 3,24;$$

$$f_{гол} = \frac{7,46 \cdot 10^{-3} \cdot 202,5^2}{8 \cdot 12,277} = 3,11;$$

$$f_{гр} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 202,5^2}{8 \cdot 7,129} = 2,49.$$

Проверка соблюдения требуемых расстояний от низшей точки провисания провода до земли по условию:

$$f \leq [f] = 6,2;$$

$$f_{tmax} = 3,24 < 6,2;$$

$$f_{гол} = 3,11 < 6,2.$$

Условия выполняются, значит расстояние от провода до земли будет не менее габаритного размера.

Стрела провеса грозозащитного троса в грозном режиме, м,

$$f_{гр}^* = f_{гр} + h_1 + \lambda - z, \quad (4.19)$$

$$f_{гр}^* = 2,49 + 3 + 1,3 - 4 = 2,79.$$

4.6 Определение напряжений в тросе

Напряжение в тросе в грозном режиме, даН/мм²,

$$\sigma_{гр}^* = \frac{\gamma_1^* \cdot l^2}{8 \cdot f_{гр}^*}, \quad (4.20)$$

$$\sigma_{тгр}^{\tau} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 202,5^2}{8 \cdot 2,79} = 14,7.$$

В качестве исходного принимается грозовой режим с параметрами: $\sigma_{тгр}$, $\gamma_{т1}$, $t=15^{\circ}\text{C}$. По уравнению состояния провода определяются напряжения в тросе для режимов максимальной нагрузки, низшей и среднегодовой температуры.

Расчет напряжения в тросе для режима среднегодовой температуры. В уравнение состояния провода подставляются все известные параметры.

$$\begin{aligned} \sigma_{т.ср}^{\tau} - \frac{(8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 202,5^2 \cdot 20 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{т.ср}^{\tau 2}} = \\ = 14,7 - \frac{(8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 202,5^2 \cdot 20 \cdot 10^3}{24 \cdot 14,7^2} - 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot (5 - 15) \end{aligned}$$

Полученное уравнение приводится к виду:

$$\sigma_{т.ср}^{\tau 3} - 6,979 \sigma_{т.ср}^{\tau 2} - 2187 = 0$$

В качестве нулевого приближения принимается значение $\sigma_0 = 16 \text{ даН/мм}^2$.

Производная полученной функции

$$y = \sigma_{т.ср}^{\tau 3} - 6,979 \sigma_{т.ср}^{\tau 2} - 2187$$

$$y' = 3 \cdot \sigma_{т.ср}^{\tau 2} - 2 \cdot 6,979 \cdot \sigma_{т.ср}^{\tau}$$

Определяется поправка на первой итерации:

$$\Delta_1 = y(\sigma_0) / y'(\sigma_0),$$

$$\Delta_1 = \frac{16^3 - 6,979 \cdot 16^2 - 2187}{3 \cdot 16^2 - 2 \cdot 6,979 \cdot 16} = 0,225.$$

Новое значение напряжения:

$$\sigma_1 = \sigma_0 - \Delta_1,$$

$$\sigma_1 = 16 - 0,225 = 15,775.$$

Проверка итерационного процесса, $\varepsilon = 0,01 \text{ даН/мм}^2$.

$$0,225 > 0,01,$$

следовательно расчет нужно продолжить, приняв в качестве нового приближения $\sigma = 15,775$

Поправка на второй итерации:

$$\Delta_2 = \frac{15,775^3 - 6,979 \cdot 15,775^2 - 2187}{3 \cdot 15,775^2 - 2 \cdot 6,979 \cdot 15,775} = 0,003.$$

Проверка:

$$0,003 < 0,01,$$

следовательно за искомое выражение $\sigma_{тср}$ принимаем σ_1 :

$$\sigma_{тср} = 15,775 \text{ даН/мм}^2.$$

В результате расчетов остальных режимов получены следующие значения:

$$\sigma_{тmax} = 31,476 \text{ даН/мм}^2;$$

$$\sigma_{тmin} = 17,606 \text{ даН/мм}^2.$$

Проверка условий механической прочности троса:

$$\sigma_{тmax} = 31,476 \text{ даН/мм}^2 \leq [\sigma_{тmax}] = 60 \text{ даН/мм}^2;$$

$$\sigma_{тmin} = 17,606 \text{ даН/мм}^2 \leq [\sigma_{тmin}] = 60 \text{ даН/мм}^2;$$

$$\sigma_{тср} = 15,775 \text{ даН/мм}^2 \leq [\sigma_{тср}] = 42 \text{ даН/мм}^2.$$

Условия выполняются, значит выбранный провод пригоден для условий проектируемой линии.

5 Выбор изоляторов и линейной арматуры

Тип изолятора выбирается по механической нагрузке с учетом коэффициента запаса прочности, который представляет собой отношение разрушающей электромеханической нагрузки к нормативной нагрузке на изолятор. Согласно ПУЭ, коэффициенты запаса прочности в режиме наибольшей нагрузки должны быть не менее 2,7, а в режиме среднегодовой температуры – не менее 5,0.

В нормальных режимах поддерживающая гирлянда изоляторов воспринимает осевую нагрузку, состоящую из веса провода, гололеда и веса самой гирлянды.

Нагрузка для изоляторов поддерживающих гирлянд, даН,

$$2,7 \cdot (G_g + G_i) \leq G_{эм},$$

$$5,0 \cdot (G_p + G_i) \leq G_{эм}, \quad (5.1)$$

где G_g – нагрузка на изолятор от веса провода, покрытого гололедом, даН,

$$G_g = \gamma_7 \cdot F \cdot l_{вес}, \quad (5.2)$$

где $l_{вес}$ = 280 м – длина весового пролета;

F – общее фактическое сечение провода, мм²;

G_i – нагрузка на изолятор от веса гирлянды, даН, предварительно $G_i = 50$ даН;

G_p – нагрузка на изолятор от веса провода, даН,

$$G_p = \gamma_1 \cdot F \cdot l_{вес}, \quad (5.3)$$

Тогда

$$2,7 \cdot (\gamma_7 \cdot F \cdot l_{вес} + G_i) = 2,7 \cdot (8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 173,2 \cdot 280 + 50) = 1248;$$

$$5,0 \cdot (\gamma_1 \cdot F \cdot l_{вес} + G_i) = 5,0 \cdot (3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 173,2 \cdot 280 + 50) = 1089.$$

Выбирается изолятор с такой разрушающей электромеханической нагрузкой, чтобы выполнялись условия (5.1). Выбирается изолятор ПФ70-В с разрушающей электромеханической нагрузкой 7500 даН:

$$1248 < 7500;$$

$$1089 < 7500,$$

т.е. условия выполняются.

Определяется число изоляторов в поддерживающей гирлянде,

$n \geq$

$$\frac{\lambda_{эф} \cdot U_{наиб}}{l_{эф}}, \quad (5.4)$$

где $\lambda_{эф}$ – нормированная удельная эффективная длина пути утечки. Для степени загрязненности атмосферы I $\lambda_{эф} = 13$ мм/кВ;

$$U_{наиб} = 1,15 \cdot U_{ном};$$

$l_{эф}$ – эффективная длина пути утечки, мм,

$$l_{эф} = l_{ут} / k, \quad (5.5)$$

где $l_{ут} = 355$ мм для выбранного изолятора;

k – поправочный коэффициент,

$k =$

$$1 + 0,5 \left(\frac{l_{ут}}{D} - 1 \right), \quad (5.6)$$

где D – диаметр тарелки изолятора, $D = 270$ мм;

$k =$

$$1 + 0,5 \left(\frac{355}{270} - 1 \right) = 1,157;$$

$$l_{эф} = 355 / 1,157 = 306,8;$$

$n \geq$

$$\frac{13 \cdot 1,15 \cdot 110}{306,8} = 5,4.$$

Полученное значение округляется до шести и увеличивается на один. В итоге число изоляторов в поддерживающей гирлянде равно семи.

При выборе изоляторов натяжных гирлянд в условия (5.1) добавляется величина тяжения провода.

Нагрузка на изолятор натяжной гирлянды, даН,

$$2,7 \sqrt{(\sigma_{\text{л. макс}} \cdot F)^2 + \left(\frac{\gamma_1 \cdot F \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\text{н}} \right)^2} \leq G_{\text{эм}}$$

$$5,0 \sqrt{(\sigma_{\text{т. ср}} \cdot F)^2 + \left(\frac{\gamma_1 \cdot F \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\text{н}} \right)^2} \leq G_{\text{эм}}, \quad (5.7)$$

$$2,7 \sqrt{(12,517 \cdot 173,2)^2 + \left(\frac{8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 173,2 \cdot 280}{2} + 50 \right)^2} = 5894,$$

$$5,0 \sqrt{(7,987 \cdot 173,2)^2 + \left(\frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 173,2 \cdot 280}{2} + 50 \right)^2} = 6949.$$

Выбирается изолятор ПФ70-В с разрушающей электромеханической нагрузкой 7500 даН:

5894 < 7500;

6949 < 7500,

т.е. условия выполняются.

Число изоляторов в натяжной гирлянде принимается на один больше, чем в поддерживающей, т.е. восемь штук. Выбор арматуры аналогичен выбору изоляторов.

Коэффициент запаса прочности для условий гололеда должен быть не менее 2,5. Нагрузка на арматуру поддерживающей гирлянды, даН,

$$2,5 \cdot (G_{\text{г}} + G_{\text{и}}) \leq G_{\text{р}}, \quad (5.8)$$

$$2,5 \cdot (8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 173,2 \cdot 280 + 50) = 1156.$$

Выбирается узел крепления гирлянды к траверсе опоры КГП-7-1, серьгу СР-7-16, ушко У1-7-16 с разрушающей минимальной нагрузкой 70 кН; глухой поддерживающий зажим ПГН-3-5 с минимальной разрушающей нагрузкой 25 кН.

Нагрузка на арматуру натяжной гирлянды, даН,

$$2,5 \sqrt{(\sigma_{\text{л. макс}} \cdot F)^2 + \left(\frac{\gamma_1 \cdot F \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\text{н}} \right)^2} \leq G_{\text{р}}, \quad (5.9)$$

$$2,7 \sqrt{(12,517 \cdot 173,2)^2 + \left(\frac{8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 173,2 \cdot 280}{2} + 50 \right)^2} = 5457.$$

Для натяжной гирлянды выбирается та же арматура что и для поддерживающей. Для натяжной гирлянды выбираем болтовой зажим.

Изолятор и линейная арматура изображены на рисунках 5.1-5.5.

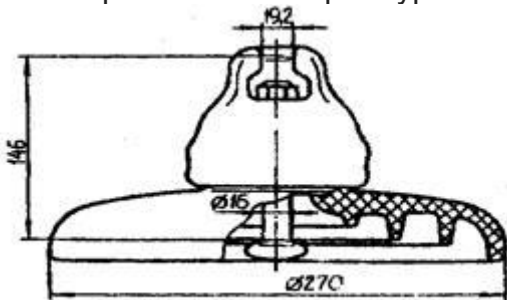


Рисунок 5.1 – Изолятор ПФ70-В

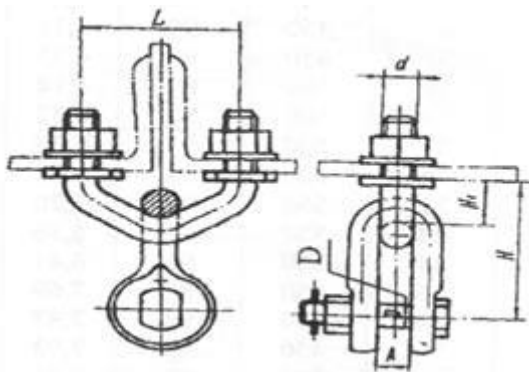


Рисунок 5.2 – Узел крепления КГП-7-1

$D=16$ мм; $A=17$ мм; $d=16$ мм; $L=80$ мм; $H_1=32$ мм; $H=82$ мм

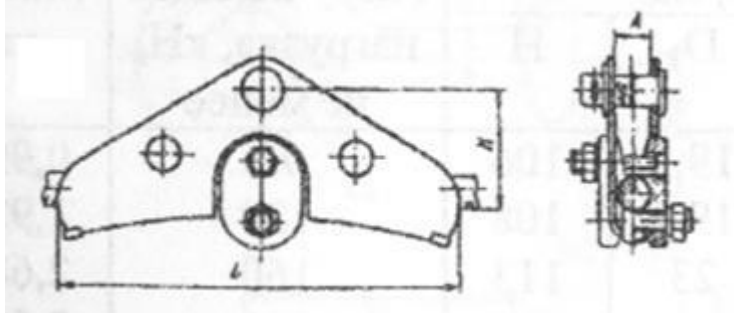


Рисунок 5.3 – Зажим поддерживающий ПГН-3-5
 $L=220$ мм; $A=20$ мм; $H=66$ мм

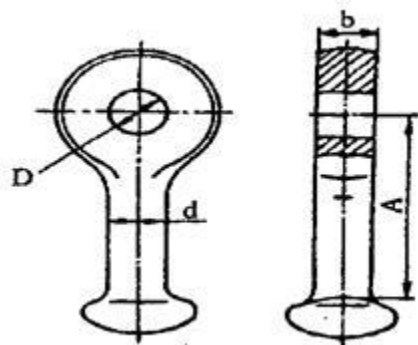


Рисунок 5.4 – Серьга СР-7-16
 $D=17$ мм; $d=16$ мм; $A=65$ мм; $b=16$ мм

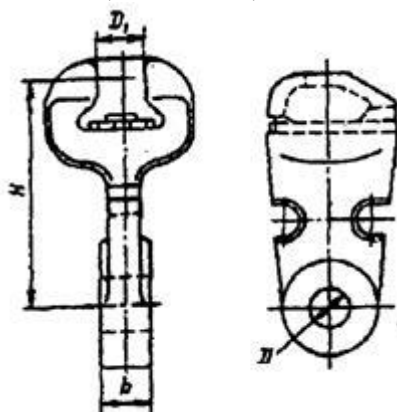


Рисунок 5.5 – Ушко У1-7-16

$D=17$ мм; $D_1=19,2$ мм; $b=16$ мм; $H=104$ мм

Фактический вес поддерживающей гирлянды, даН,

$$G_{\text{гир.ф}} = n \cdot G_{\text{из}} + G_{\text{арм}}, \quad (5.10)$$

где $G_{из}$ – вес одного изолятора, даН;

$G_{арм}$ – суммарный вес элементов арматуры, даН;

$$G_{гир.ф} = 7 \cdot 5,0 + 0,8 + 0,3 + 0,76 + 0,95 = 37,81.$$

Фактическая длина поддерживающей гирлянды, м,

$$\lambda_{гир.ф} = n \cdot H_{из} + H_{арм}, \quad (5.11)$$

где $H_{из}$ – высота одного изолятора, м;

$H_{арм}$ – суммарная высота элементов арматуры, м;

$$\lambda_{гир.ф} = 7 \cdot 0,146 + 0,082 + 0,065 + 0,104 + 0,066 = 1,339.$$

Получили $\lambda_{гир.ф} = 1,339$ больше, чем принятое в расчетах $\lambda = 1,3$.

Проверка соблюдения габарита.

Пересчитанная допустимая стрела провеса, м,

$$[f] = h_2 - \lambda - \Gamma,$$

$$[f] = 13,5 - 1,339 - 6 = 6,161.$$

Проверка соблюдения требуемых расстояний от низшей точки провисания провода до земли по условию:

$$f \leq [f] = 6,161,$$

$$f_{\max} = 3,24 < 6,161.$$

Условие соблюдается, т.е. такая длина гирлянды допустима.

Защита от вибрации осуществляется с помощью гасителей вибрации, представляющих собой два груза, закрепленных на стальном тросике (рисунок 5.6).

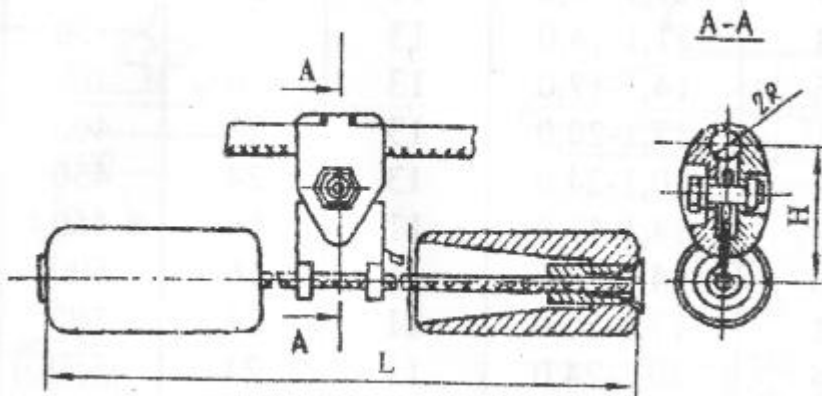


Рисунок 5.6 – Гаситель вибрации ГПГ-1,6-11-400/21

$d = 11$ мм; $2R = 21$ мм; $L = 400$ мм; $H = 78$ мм

Выбор гасителя вибрации осуществляется с учетом марки и сечения провода. Выбирается гаситель вибрации ГПГ-1,6-11-400/21. Для грозозащитного троса гаситель вибрации не требуется, так как $\sigma_{тср} < 18,0$ даН/мм².

Расстояние от зажима до места крепления виброгасителя, мм,

$$l = 1,3 \cdot d \cdot \sqrt{\sigma_{тср} \cdot \frac{F}{G_{п}}}, \quad (5.12)$$

где d – диаметр провода, мм;

$G_{п}$ – вес одного метра провода, даН;

$$l = 1,3 \cdot 17,1 \cdot \sqrt{7,987 \cdot \frac{173,2}{600/1000}} = 1067,4 \text{ мм} \approx 1,07 \text{ м}.$$

6 Расстановка опор по профилю трассы

6.1 Построение шаблона

На заданном профиле трассы расстановка опор производится с помощью специальных шаблонов. Шаблон представляет собой три кривые провисания провода, сдвинутые

относительно друг друга, построенные в виде парабол для режима, при котором возникает наибольшая стрела провеса. В п. 4.5 была определена максимальная стрела провеса, которая соответствует режиму максимальной температуры, $f_{\max}=3,24$ м.

Кривая 1 – кривая провисания нижнего провода – строится на основе формулы стрелы провеса:

$$f_{\max} = \frac{\gamma_{f \max} \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{f \max}}, \quad (6.1)$$

где $\gamma_{f \max}$, $\sigma_{f \max}$ – удельная нагрузка и напряжение в проводе в режиме, отвечающем наибольшей стреле провеса. Данная формула представляется в виде уравнения:

$$y = a \cdot x^2, \quad (6.2)$$

где

$$y = f_{\max};$$

$$x = \frac{l}{2}; \quad a =$$

$$\frac{\gamma_{f \max}}{2 \cdot \sigma_{f \max}}.$$

Для режима максимальной температуры уравнение примет вид:

$$y = \frac{3,46 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5,475} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2,$$

Для построения кривой 1 в 1-ом квадранте выполняется несколько расчетов, представленных в виде таблицы 6.1.

Таблица 6.1 – Построение кривой 1

l	0	50	100	150	202,5
x	0	25	50	75	101,
y	0	0,27	0,79	1,78	3,24

Кривая 2, называемая габаритной, сдвинута о вертикали вниз от кривой 1 на расстояние требуемого габарита от земли $\Gamma=6$ м. Кривая 3 – земляная – сдвинута от кривой 1 вниз на расстояние $h_2 - \lambda_{\text{гир.ф}} = 13,5 - 1,339 = 12,161$ м (рисунок 6.1).

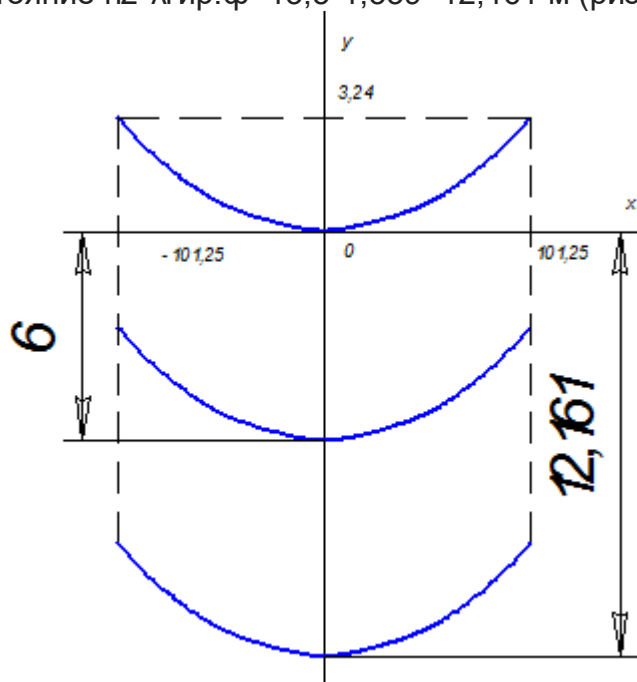


Рисунок 6.1 – Построение шаблона

Шаблон накладывают на профиль трассы так, чтобы кривая 3 пересекала профиль в месте установки первой анкерной опоры, а кривая 2 касалась его, при этом ось y должна быть

строго вертикальной. Тогда другая точка пересечения кривой 3 с профилем будет соответствовать месту установки первой промежуточной опоры. При таком положении шаблона во всех точках пролета габарит будет не меньше допустимого. Аналогично находится место установки второй промежуточной опоры и т.д.

После монтажа анкерного участка в проводах происходит выравнивание напряжения, которое соответствует какому-то условному пролету. Этот пролет называется условным, и его длина, m , определяется из выражения:

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^3}{\sum_{i=1}^n l_i}}, \quad (6.3)$$

где l_i – фактическая длина i -го пролета в анкерном участке, m ;
 n – количество пролетов в анкерном участке;

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{194^3 + 157^3 + 125^3 + 184^3 + 174^3 + 147^3 + 161^3 + 156^3}{194 + 157 + 125 + 184 + 174 + 147 + 161 + 156}} = 166.$$

В результате расчетов получили что $l_{\text{пр}}$ отличается от l_p на $202,5 - 166$

$$\frac{202,5}{166} \cdot 100\% = 18\%,$$

что больше допустимых 5%. В таком случае заново проводится механический расчет, построение шаблона и расстановка опор на трассе. Для данного курсового проекта допускается изменить расстановку опор без проведения повторного механического расчета. Построение нового шаблона.

$$y = \frac{3,46 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5,475} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2,$$

Для построения кривой 1 в 1-ом квадранте выполняется несколько расчетов.

Таблица 6.2 – Построение кривой 1

l	0	50	100	166
x	0	25	50	83
y	0	0,27	0,79	2,18

Новая расстановка опор показана на рисунке 6.3.

Приведенный пролет, m ,

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{146^3 + 130^3 + 111^3 + 94^3 + 152^3 + 151^3 + 149^3 + 99^3 + 131^3 + 136^3}{146 + 130 + 111 + 94 + 152 + 151 + 149 + 99 + 131 + 136}} = 132$$

Проверка:

$$166 - 132$$

$$\frac{166}{132} \cdot 100\% = 20\%.$$

В результате повторного расчета разница между приведенным и расчетным пролетом снова велика. Расчет повторяется до тех пор пока разница между значениями пролетов будет не более 5%.

6.2 Проверка опор на прочность

При расстановке опор по профилю трассы все они должны быть проверены на прочность в реальных условиях. Проверка выполняется сопоставлением вычисленных для каждой опоры весового и ветрового пролетов со значениями этих пролетов, указанных в технических характеристиках опоры.

Весовой пролет, m ,

$$l_{\text{век}} = \frac{l'_{\text{э1}} + l'_{\text{э2}}}{2}, \quad (6.4)$$

где эквивалентные пролеты вычисляются по формулам:

-первый (большой) эквивалентный пролет, м,

$$l'_{\text{э}} = l + \frac{2 \cdot \sigma_{\text{гол}} \cdot \Delta h}{\gamma_{\text{э}} \cdot l}, \quad (6.5)$$

-второй (малый) эквивалентный пролет, м,

$$l'_{\text{э}} = l - \frac{2 \cdot \sigma_{\text{гол}} \cdot \Delta h}{\gamma_{\text{э}} \cdot l}, \quad (6.6),$$

где l – действительная длина пролета, м;

Δh – разность между высотами точек подвеса провода, м;

Смежными эквивалентными пролетами, прилегающими к опоре, могут быть и два больших или два малых эквивалентных пролета. Тогда выражение (6.4) будет иметь вид:

$$l_{\text{век}} = \frac{l'_{\text{э1}} + l'_{\text{э2}}}{2};$$

или

$$l_{\text{век}} = \frac{l''_{\text{э1}} + l''_{\text{э2}}}{2}.$$

Ветровой пролет, м,

$$l_{\text{ветр}} = \frac{l_1 + l_2}{2}. \quad (6.7)$$

Расчет для второй опоры.

$$l_{\text{э1}}'' = 157 - \frac{12,77_{\text{гол}} \cdot 2,23}{7,46 \cdot 10^{-3} \cdot 157} = 108,4;$$

$$l_{\text{э2}}' = 125 + \frac{2 \cdot 12,77 \cdot 2,99}{7,46 \cdot 10^{-3} \cdot 125} = 206,9;$$

$$l_{\text{век}} = \frac{108,4 + 206,9}{2} = 157,6;$$

$$l_{\text{ветр}} = \frac{157 + 125}{2} = 141,0.$$

Для остальных опор расчет сводится в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Проверка опор на прочность

№ опоры i	$l'_{\text{э}i-1}$, м	$l''_{\text{э}i-1}$, м	$l'_{\text{э}i}$, м	$l''_{\text{э}i}$, м	Δh_{i-1} , м	Δh_i , м	$l_{\text{век}}$, м	$l_{\text{ветр}}$, м
1	-	184,3	205,6	-	0,55	2,23	194,9	175,5
2	-	108,4	206,9	-	2,23	2,99	157,6	141,0
3	-	43,1	200,0	-	2,99	0,86	121,5	154,5
4	-	168,0	-	143,7	0,86	1,54	155,8	179,0
5	204,3	-	189,4	-	1,54	1,82	196,8	160,5
6	-	104,6	173,3	-	1,82	0,58	138,9	154,0
7	-	148,7	165,0	-	0,58	0,41	156,8	158,5

Таким образом, для каждой опоры выполняются условия

$$l_{\text{ветр.ф}} \leq l_{\text{ветр}} = 250 \text{ м},$$

$$l_{\text{век.ф}} \leq l_{\text{век}} = 280 \text{ м}.$$

7 Расчет монтажных стрел провеса провода и троса

Определяется исходный режим из соотношений трех критических пролетов и приведенного пролета: lk_1 – мнимый, $l_{pr}=166 \text{ м} > lk_3=144,2 \text{ м}$.

На основании полученных соотношений определяется исходный режим. Это режим максимальной нагрузки с параметрами: $\sigma_i=[\sigma_{y.\max}]=13,0 \text{ даН/мм}^2$, $\gamma_i=\gamma_{\max}=8,5 \cdot 10^{-3} \text{ даН/(м} \cdot \text{мм}^2)$, $t_i=t_{\text{гол}}=-5^\circ\text{C}$.

Расчет напряжения при монтаже осуществляется с помощью уравнения

$$\sigma_m - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{pr}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} = \sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \cdot l_{pr}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_m - t_n) \quad (7.1)$$

Стрела провеса провода в интересующем пролете lf , м, определяется из выражения

$$f = \frac{\gamma_1 \cdot l_{pr}^2}{8 \cdot \sigma_m}, \quad (7.2).$$

Тяжение провода, даН, рассчитывается по формуле

$$T_m = \sigma_m \cdot F, \quad (7.3)$$

С помощью уравнения состояния рассчитывается напряжение в проводе при температуре монтажа $t_{\max}=40^\circ\text{C}$ и $t_{\min}=-10^\circ\text{C}$.

при $t_{\max}=40^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \sigma_m^{t_{\max}} - \frac{(3,46 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 166^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_m^{t_{\max} 2}} = \\ = 13,0 - \frac{(8,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 166^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot 13,0^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (40 - (-5)) \end{aligned}$$

Полученное уравнение приводится к виду:

$$\sigma_m^{t_{\max} 3} - 1,822 \cdot \sigma_m^{t_{\max} 2} - 113,4 = 0$$

$$\sigma_m^{t_{\max}} = 5,53 \text{ даН/мм}^2.$$

Тяжение в проводе, даН,

$$T_m^{t_{\max}} = \sigma_m \cdot F,$$

$$T_m^{t_{\max}} = 5,53 \cdot 173,2 = 957,8.$$

при $t_{\min}=-10^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \sigma_m^{t_{\min}} - \frac{(3,46 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 166^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_m^{t_{\min} 2}} = \\ = 13,0 - \frac{(8,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 166^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot 13,0^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (-10 - (-5)) \end{aligned}$$

Полученное уравнение приводится к виду:

$$\sigma_m^{t_{\min} 3} - 9,742 \cdot \sigma_m^{t_{\min} 2} - 113,4 = 0$$

$$\sigma_m^{t_{\min}} = 10,74 \text{ даН/мм}^2.$$

Тяжение в проводе, даН,

$$T_m^{t_{\min}} = 10,74 \cdot 173,2 = 1860,2 \text{ даН}.$$

Для наибольшего пролета $l_{\max}=194 \text{ м}$ и наименьшего пролета $l_{\min}=125 \text{ м}$ по формуле (7.2) рассчитываются стрелы провеса при максимальной и минимальной температурах, м, $l_{\max}=194 \text{ м}$

$$f_{t_{\max}}^{l_{\max}} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 194^2}{8 \cdot 5,53} = 2,94;$$

$$f_{tmin}^{lmax} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 194^2}{8 \cdot 10,74} = 1,52;$$

$l_{min}=125$ м

$$f_{tmax}^{lmin} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 125^2}{8 \cdot 5,53} = 1,22;$$

$$f_{tmin}^{lmin} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 125^2}{8 \cdot 10,74} = 0,63.$$

Расчет при других температурах выполняется аналогично, результаты заносятся в таблицу 7.1.

Стрела провеса провода в габаритном пролете при температуре 15°C, м,

$$f_{15} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{габ}^2}{8 \cdot \sigma_m^{15}}, \quad (7.4)$$

$$f_{15} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 225^2}{8 \cdot 7,7} = 2,84.$$

Исходные данные для троса: $\sigma_{гр}=14,7$ даН/мм², $\gamma_1=8 \cdot 10^{-3}$ даН/(м·мм²), $t=15^\circ\text{C}$.

Стрела провеса троса в габаритном пролете в режиме грозы исходя из требуемого расстояния z для габаритного пролета, м,

$$f_{гр}^z = f_{15} + h_1 + \lambda_{гр\phi} - z, \quad (7.5)$$

$$f_{гр}^z = 2,84 + 3 + 1,339 - 4,075 = 3,104.$$

Определяется величина напряжения в тросе по известной величине $f_{гр}$, даН/мм²,

$$\sigma_{гр}^z = \frac{\gamma_1 \cdot l_{габ}^2}{8 \cdot f_{гр}^z}, \quad (7.6)$$

$$\sigma_{гр}^z = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 225^2}{8 \cdot 3,104} = 16,3.$$

Определяются напряжения в тросе при температуре монтажа из уравнения состояния, принимая в качестве исходного грозовой режим.

$$\sigma_m^z - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{гр}^2 \cdot E^z}{24 \cdot \sigma_m^2} = \sigma_{гр}^z - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{гр}^2 \cdot E^z}{24 \cdot \sigma_{гр}^2} - \alpha^z \cdot E^z \cdot (t_m - 15), \quad (7.7)$$

Для наибольшего пролета $l_{max}=194$ м и наименьшего пролета $l_{min}=125$ м рассчитываются стрелы провеса троса, м,

$$f_t^{z1min} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{min}^2}{8 \cdot \sigma_m^{z,t}}, \quad (7.8)$$

$$f_t^{z1max} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{max}^2}{8 \cdot \sigma_m^{z,t}}, \quad (7.9)$$

Тяжение в тросе, даН,

$$T_m^z = \sigma_m^z \cdot F^z, \quad (7.10)$$

Расчет для температуры -10°C .

$$\sigma_m^z - \frac{(8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 166^2 \cdot 20 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_m^2} =$$

$$= 16,3 - \frac{(8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 166^2 \cdot 20 \cdot 10^3}{24 \cdot 16,3^2} - 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot (-10 - 15)$$

Полученное уравнение приводится к виду:

$$\sigma_m^2 - 10,768 \cdot \sigma_m - 1469,65 = 0$$

$$\sigma_m^2 = 20,33 \text{ даН/мм}^2.$$

Тяжение в тросе, даН,

$$T_m^2 = 20,33 \cdot 48,6 = 988 \text{ даН.}$$

Стрела провеса при $l_{\max}=194$ м, м,

$$f^2 = \frac{8 \cdot 10^{-2} \cdot 194^2}{8 \cdot 20,33} = 1,85.$$

Стрела провеса при $l_{\min}=125$ м, м,

$$f^2 = \frac{8 \cdot 10^{-2} \cdot 125^2}{8 \cdot 20,33} = 0,77.$$

Расчет при других температурах выполняется аналогично, результаты заносятся в таблицу 7.2.

Таблица 7.1 – Монтажная таблица провода

Температура, °С	Напряжение, даН/мм ²	Тяжение, даН	Стрела провеса в пролете длиной, м	
			l=194	l=125
-10	10,74	1860,2	1,52	0,63
0	9,42	1631,5	1,73	0,72
10	8,24	1427,2	1,97	0,82
15	7,70	1333,6	2,11	0,88
20	7,19	1245,3	2,26	0,94
30	6,28	1087,7	2,59	1,08
40	5,53	957,8	2,94	1,22

Таблица 7.2 – Монтажная таблица троса

Температура, °С	Напряжение, даН/мм ²	Тяжение, даН	Стрела провеса в пролете длиной, м	
			194 м	125 м
-10	20,33	988,0	1,85	0,77
0	18,61	904,4	2,02	0,84
10	17,03	827,7	2,21	0,92
20	15,60	758,2	2,41	1,00
30	14,33	696,4	2,63	1,09
40	13,20	641,5	2,85	1,18

Монтажные графики для провода и троса изображены на рисунках 7.1 и 7.2.

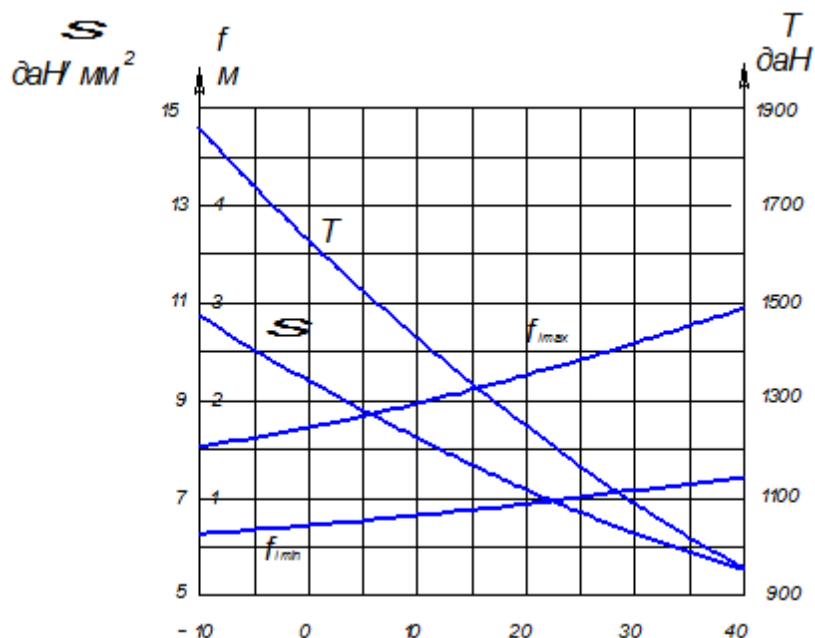


Рисунок 7.1 – Монтажные графики для провода

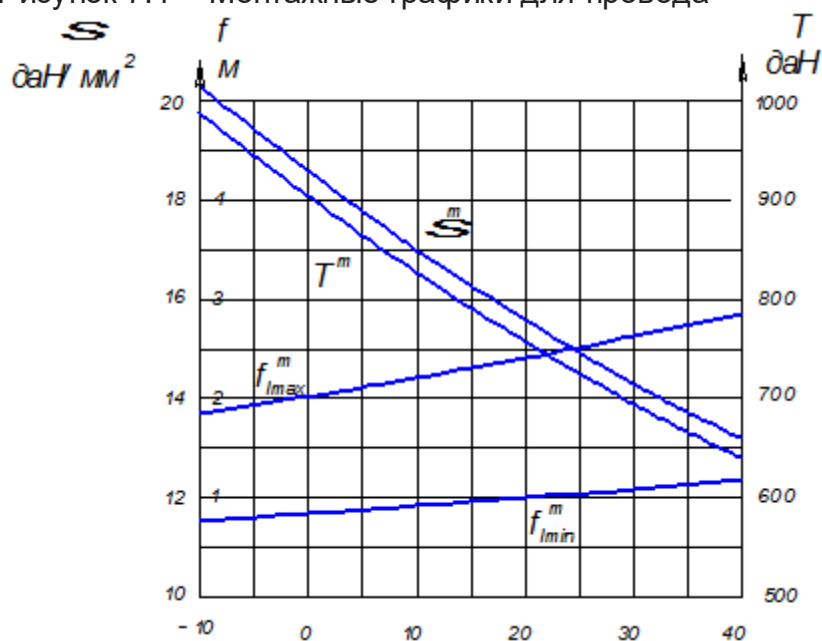


Рисунок 7.2 – Монтажные графики для троса

Заключение

В данном курсовом проекте были рассмотрены основные этапы проектирования механической части воздушных ЛЭП: выполнены выбор промежуточных опор, механический расчет проводов и грозозащитного троса, выбор линейной арматуры, произведены расстановка опор по профилю трассы и расчет монтажных стрел провеса.

В ходе выполнения данного курсового проекта получены навыки пользования справочными материалами и нормативными документами, а также навыки выполнения самостоятельных инженерных расчетов с привлечением прикладного программного обеспечения персональных компьютеров.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2001. – 928 с.
2. Проектирование механической части воздушных ЛЭП. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Киров, 2004.-99 с.