

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра электротехники и электроэнергетики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ»

Составители:
КОРОВКИН А. В.
СБИТНЕВ С.А.

«В печать»:

Составители –	А.В. Коровкин С.А. Сбитнев
Зав. кафедрой –	С.А. Сбитнев
Редактор –	Е.В. Невская
Начальник РО –	Е.П. Викулова.
Ответственный секретарь издательства	Е.А. Амирсейидова
Директор издательства –	Ю.К. Жулев
Проректор по УР –	В.А. Немонтов

Владимир 2006

Содержание

	стр.
I. Расчёт удельных механических нагрузок от атмосферных воздействий на фазные провода и на грозозащитные тросы с учетом высот их крепления на промежуточной опоре.	3-6
II. Определение значений критических пролетов и выбор исходного сочетания климатических условий для расчета провода на механическую прочность в нормальном режиме работы ВЛ, основываясь на нормируемых значениях допускаемых напряжений и эквивалентных физико-механических характеристик.	7-12
III. Вычисление критической температуры, выбор сочетания климатических условий существования наибольших вертикальных стрел провисания проводов и расчёт габаритного пролета линии; построение шаблона для расстановки опор по продольному профилю трассы ВЛ в масштабах: по вертикали - 1:500, по горизонтали - 1: 5000.	13-16
IV. Составление монтажной таблицы и построение монтажных графиков провода для характерных пролетов линии.	17-19
V. Выбор подвесных изоляторов для крепления проводов к промежуточным и анкерным опорам.	20-22
VI. Расчёт аварийного режима работы ВЛ при обрыве провода во втором пролете от анкерной опоры и заключение о допустимости приближения провода к поверхности земли.	23-24
VII. Расстановка опор по профилю трассы с помощью программы Route.	25-27
Список литературы.	28

I. Расчёт удельных механических нагрузок от атмосферных воздействий на фазные провода с учетом высот их крепления на промежуточной опоре.

По заданию определяем конструктивные данные сталеалюминевых проводов, исходные данные для которых содержатся в табл. 25 [1]:

d_n - нормативный диаметр провода марки АС, мм;

d_c - диаметр стальной проволоки, мм;

d_a - диаметр алюминиевой проволоки, мм;

N_c - количество стальных проволок в проводе АС;

N_a - количество алюминиевых проволок в проводе АС;

M - масса 1 км провода, кг.

Сечение стальной части провода:

$$S_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} N_c \quad \text{мм}^2. \quad (1-1)$$

Сечение алюминиевой части провода:

$$S_a = \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} \cdot N_a \quad \text{мм}^2. \quad (1-2)$$

Суммарное сечение стальной и алюминиевой частей рассчитывается следующим образом:

$$S_{\Sigma} = S_c + S_a \quad \text{мм}^2. \quad (1-3)$$

Вычислим соотношение сечений:

$$m = \frac{S_a}{S_c}. \quad (1-4)$$

В зависимости от заданного климатического района определяем:

1. Максимальный нормативный скоростной напор ветра (по табл. 2.5.1.в [2]).

2. Нормативную толщину стенки гололеда (по табл. 2.5.3. в [2]).

3. Наименьшее допустимое расстояние от проводов до поверхности земли для заданной местности h_r (по табл.8.1 в [3]).

В соответствии с заданием выбирается опора (по табл.50.9 в [4]) и приводятся её геометрические размеры (по рис. 50.1-50.60 в [4]).

Строительная высота гирлянды изоляторов λ выбирается в зависимости от уровня напряжения ВЛ и может изменяться в пределах от $0,7 \div 4,9$ м (по табл. 41.14 в [3]).

Удельные механические нагрузки на фазные провода рассчитываются по следующим формулам:

1. Постоянно действующая нагрузка от собственной массы провода:

$$\gamma_1 = \frac{M \cdot g}{S_A + S_C} \cdot 10^{-3} \frac{H}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}, \quad (1-5)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

2. Временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений:

$$\gamma_2 = 27,74 \cdot \frac{b \cdot (b + d_n)}{S_A + S_C} \cdot 10^{-3} \frac{H}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}, \quad (1-6)$$

где:

$$b = b_n \cdot k_n^d \cdot k_n^h \quad \text{мм}^2, \quad (1-7)$$

- ✓ b - расчетная толщина стенки гололедного цилиндра на проводе, мм;
- ✓ b_n - нормативная толщина стенки гололеда, мм (по табл. 2.5.3. в [2]).
- ✓ k_n^d - поправочный коэффициент, учитывающий отличие диаметра провода от b_n , рассчитываемый по аппроксимирующей формуле:

$$k_n^d = \frac{0,83}{\sqrt[4]{0,1d_n}} + 0,17; \quad (1-8)$$

- ✓ k_n^h - поправочный коэффициент, учитывающий отличие высоты расположения приведенного центра тяжести проводов $h_{ум}^*$ от 15 м, рассчитываемый по формуле:

$$k_n^h = \left(\lg \sqrt{7h_{ум}^*} \right)^2, \quad (1-9)$$

где:

$$h_{ум}^* = \frac{\sum_{i=1}^n (h_{ум})_i}{n} \quad \text{м}. \quad (1-10)$$

Для нижних проводов приведенный центр тяжести рассчитываем по формуле:

$$h_{\text{цт}}^{\text{н.жс}} = h_{\Gamma} + [f]/3 \quad \text{м}, \quad (1-11)$$

где h_{Γ} – нормированный габарит, м;

$[f]$ - наибольшая стрела провисания провода, определяемая по известным конструктивным размерам опоры:

$$[f] = H_{\text{мп}}^{\text{н.жс}} - h_{\Gamma} - \lambda \quad \text{м}, \quad (1-12)$$

где $H_{\text{мп}}^{\text{н.жс}}$ - расстояние от поверхности земли до нижней траверсы.

Приведенный центр тяжести всех проводов:

$$h_{\text{цт}}^* = \frac{n \cdot [h_{\text{цт}}^{\text{н.жс}} + (h_{\text{цт}}^{\text{н.жс}} + \Delta\ell_1) + (h_{\text{цт}}^{\text{н.жс}} + \Delta\ell_2)]}{n \cdot 3} \quad \text{м}, \quad (1-13)$$

где $\Delta\ell_1$ - расстояния между нижним проводом и вторым проводом, м;

$\Delta\ell_2$ - расстояния между нижним проводом и третьим проводом, м;

n - количество цепей в ВЛ.

В случае если $k_n^h \leq 1,0$ принимается значение $k_n^h = 1,0$.

3. Суммарная вертикальная удельная нагрузка от собственной массы провода и массы гололеда:

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot \frac{H}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}. \quad (1-14)$$

4. Временно действующая горизонтальная нагрузка от давления ветра на провод, свободный от гололеда:

$$\gamma_4 = \alpha \cdot C_x \cdot k_Q^h \cdot \frac{Q_n \cdot d_n}{S_A + S_C} \cdot \sin^2 \varphi \cdot 10^{-3} \cdot \frac{H}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}, \quad (1-15)$$

где α - коэффициент неравномерности распределения скоростного напора по длине ВЛ, равный:

$$\alpha = \frac{0,9}{\sqrt[4]{0,01 \cdot Q_n - 1,7}} + 0,1, \quad (1-16)$$

при $270 < Q_n < 745 \quad \text{Н/м}^2$;

Q_n – наибольший нормативный скоростной напор ветра на высоте до 15 м по табл. 41.1 в [4].

C_x - аэродинамический коэффициент, принимается равным 1,1 для проводов диаметром 20 мм и более, и 1,2 – для проводов диаметром до 20 мм, а также для проводов, покрытых гололедом;

k_Q^h - поправочный коэффициент на высоту, равный 1 при $h_{ум}^* < 15 м$, а при $h_{ум}^* > 15 м$ рассчитывается по формуле:

$$k_Q^h = (\lg \sqrt{10 h_{ум}^*})^2. \quad (1-17)$$

Принимается, что вектор скорости ветра направлен перпендикулярно проводам, поэтому $\sin \varphi = 1$.

5. Временно действующая горизонтальная нагрузка от давления ветра на провод, покрытый гололедом:

$$\gamma_5 = \alpha \cdot C_x \cdot k_Q^h \cdot \frac{0,25 \cdot Q_H \cdot (d_n + 2b)}{S_A + S_C} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{H}{м \cdot мм^2}. \quad (1-18)$$

Коэффициент α определяется в зависимости от $0,25 Q_H$.

Если $k_Q^h(0,25 Q_H) < 270 H / м^2$, то $\alpha = 1$. Коэффициент k_Q^h остается прежним.

6. Результирующая удельная нагрузка от собственной массы провода и давления ветра:

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2} \cdot \frac{H}{м \cdot мм^2}. \quad (1-19)$$

7. Результирующая удельная нагрузка от массы провода, массы гололеда и давления ветра:

$$\gamma_7 = \sqrt{(\gamma_1 + \gamma_2)^2 + \gamma_5^2} \cdot \frac{H}{м \cdot мм^2}. \quad (1-20)$$

В результате расчётов производится сравнение двух нагрузок γ_6 и γ_7 , среди которых выбирается наибольшая.

Аналогично рассчитываем удельные механические нагрузки для грозозащитного троса. Центр тяжести троса имеет при этом другую высоту, чем у проводов, и определяется в предположении одинаковости стрел провисания троса и проводов:

$$h_{ум}^m = H_{он} - \frac{2}{3} [f] \quad м, \quad (1-21)$$

тогда поправочные коэффициенты

$$k_{bm}^h = \left(\lg \sqrt{7h_{um}^*} \right)^2, \quad (1-22)$$

$$k_Q^h = \left(\lg \sqrt{10h_{um}^*} \right)^2. \quad (1-23)$$

II. Определение значения критических пролетов и выбор исходного сочетания климатических условий для расчета провода на механическую прочность в нормальном режиме работы ВЛ, основываясь на нормируемых значениях допускаемых напряжений и эквивалентных физико-механических характеристиках.

Для провода АС с соотношением сечения алюминия и стали m по табл. 2.5.8. в [2]) находим:

α - температурный коэффициент линейного удлинения провода, $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$;

E - модуль упругости E (модуль Юнга); $\frac{\text{H}}{\text{мм}^2}$.

По таблице 2.5.7. в [2] выбираем:

- значения допускаемого эквивалентного напряжения $[\sigma]_{нб}, \frac{\text{H}}{\text{мм}^2}$ в состоянии провода, когда действует наибольшая механическая нагрузка $\gamma_{нб}$;

- $[\sigma]_{(-)} = [\sigma]_{нб}, \frac{\text{H}}{\text{мм}^2}$ при наинизшей температуре воздуха;

- $[\sigma]_{ср}, \frac{\text{H}}{\text{мм}^2}$ при среднегодовой температуре (средние эксплуатационные условия работы провода).

Рассчитаем изменение значений напряжений в проводе, которые будут возникать при средних эксплуатационных условиях, если требуется обеспечить сохранение допускаемых напряжений как при условиях возникновения наибольшей механической нагрузки, так и при установившейся наинизшей температуре окружающего воздуха. Составим и решим уравнения состояния провода в двух вариантах.

Первое уравнение: исходные условия m – при $\gamma_{нб}$; искомые условия n – при средних эксплуатационных условиях:

$$\sigma_{ср} - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_i^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{ср}^2} = [\sigma]_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot l_i^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma]_{нб}^2} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{Г} - \vartheta_{ср}). \quad (2-1)$$

Второе уравнение: исходные условия m – при $\vartheta_{(-)}$; искомые условия n – при средних эксплуатационных условиях:

$$\sigma_{ср} - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_i^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{ср}^2} = [\sigma]_{(-)} - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_i^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma]_{(-)}^2} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{(-)} - \vartheta_{ср}). \quad (2-2)$$

Структура обоих уравнений, являющихся неполными кубическими, одинакова:

$$\sigma_{сэ}^3 - A \cdot \sigma_{сэ}^2 - B = 0, \quad (2-3)$$

где:

$$A = [\sigma]_m - \frac{(\gamma_m \cdot l_i)^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma]_m} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_m - \vartheta_\Gamma); \quad (2-4)$$

$$B = \frac{(\gamma_n \cdot l_i)^2 \cdot E}{24}. \quad (2-5)$$

Наиболее эффективный для решения этих уравнений является итерационный метод Ньютона.

Находим производную σ на итерации k :

$$f'(\sigma_k) = 3\sigma_k^2 - 2A \cdot \sigma_k. \quad (2-6)$$

Тогда напряжение на последующей итерации:

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{f(\sigma_k)}{f'(\sigma_k)}. \quad (2-7)$$

Подставив значения из (2-3) и (2-6) в (2-7) получим:

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{\sigma_k^3 - A \cdot \sigma_k^2 - B}{3\sigma_k^2 - 2A \cdot \sigma_k} = \frac{\sigma_k^2(2\sigma_k - A) + B}{\sigma_k(3\sigma_k - 2A)}. \quad (2-8)$$

На нулевой итерации удобно взять легко вычисляемые значения напряжения. Так, при $l_i \rightarrow 0$ из первого уравнения получим:

$$\sigma_{сэ}^{(1)} = [\sigma]_{н0} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{(\Gamma)} - \vartheta_{с\Gamma}) \frac{H}{мм^2}; \quad (2-9)$$

$$\sigma_{сэ}^{(1)} > \sigma_{сэ}.$$

Из второго уравнения выразим:

$$\sigma_{сэ}^{(2)} = [\sigma]_{(-)} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{(-)} - \vartheta_{с\Gamma}) \frac{H}{мм^2}; \quad (2-10)$$

$$\sigma_{сэ}^{(2)} < \sigma_{сэ}.$$

Значения коэффициентов A и B вычисляются при различных значениях длины $l_i=100, 200, 300, 400, 500$ и 600 м:

$$A_{н\bar{o}} = [\sigma]_{н\bar{o}} - \left(\frac{\gamma_{н\bar{o}}}{[\sigma]_{н\bar{o}}} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \cdot l_i^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{(-)} - \vartheta_{CF}); \quad (2-11)$$

$$B_{н\bar{o}} = \frac{(\gamma_1)^2}{24} \cdot E \cdot l_i^2; \quad (2-12)$$

$$A_{(-)} = [\sigma]_{н\bar{o}} - \left(\frac{\gamma_1}{[\sigma]_{н\bar{o}}} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \cdot l_i^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{(-)} - \vartheta_{CF}); \quad (2-13)$$

$$B_{(-)} = B_{н\bar{o}} = \frac{(\gamma_1)^2}{24} \cdot E \cdot l_i^2. \quad (2-14)$$

Значения, рассчитанные по формулам (2-11) - (2-14) заносятся в таблицы 2.1 и 2.2:

Таблица 2.1

$l_i, м$	$A_{н\bar{o}}$	$B_{н\bar{o}}$	$\sigma_{CЭ0}$	$\sigma_{CЭ1}$	$\sigma_{CЭ2}$	$\sigma_{CЭ3}$
100						
...
600						

Таблица 2.2

$l_i, м$	$A_{(-)}$	$B_{(-)}$	$\sigma_{CЭ0}$	$\sigma_{CЭ1}$	$\sigma_{CЭ2}$	$\sigma_{CЭ3}$
100						
...
600						

Если рассмотрим первое уравнение при $l_i \rightarrow \infty$, получим:

$$\sigma_{CЭ}^{(3)} = [\sigma]_{н\bar{o}} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_{н\bar{o}}} = \frac{H}{мм^2}. \quad (2-15)$$

При решении второго уравнения при $l_i \rightarrow \infty$, получим:

$$\sigma_{CЭ}^{(4)} = [\sigma]_{(-)} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_1} = [\sigma]_{н\bar{o}} = \frac{H}{мм^2}. \quad (2-16)$$

Следует отметить, что длину пролета можно варьировать, как увеличивая, так и уменьшая её.

На основании полученных графиков строятся кривые, которые представлены на рис.2.1. Обе зависимости пересекаются при $l_i = l_2$. Прямая $[\sigma]_{сэ}$ пересекает кривые при длинах $l_i = l_1$ и $l_i = l_3$. Причём $l_1 \approx l_{кр.1}$; $l_2 \approx l_{кр.2}$; $l_3 \approx l_{кр.3}$.

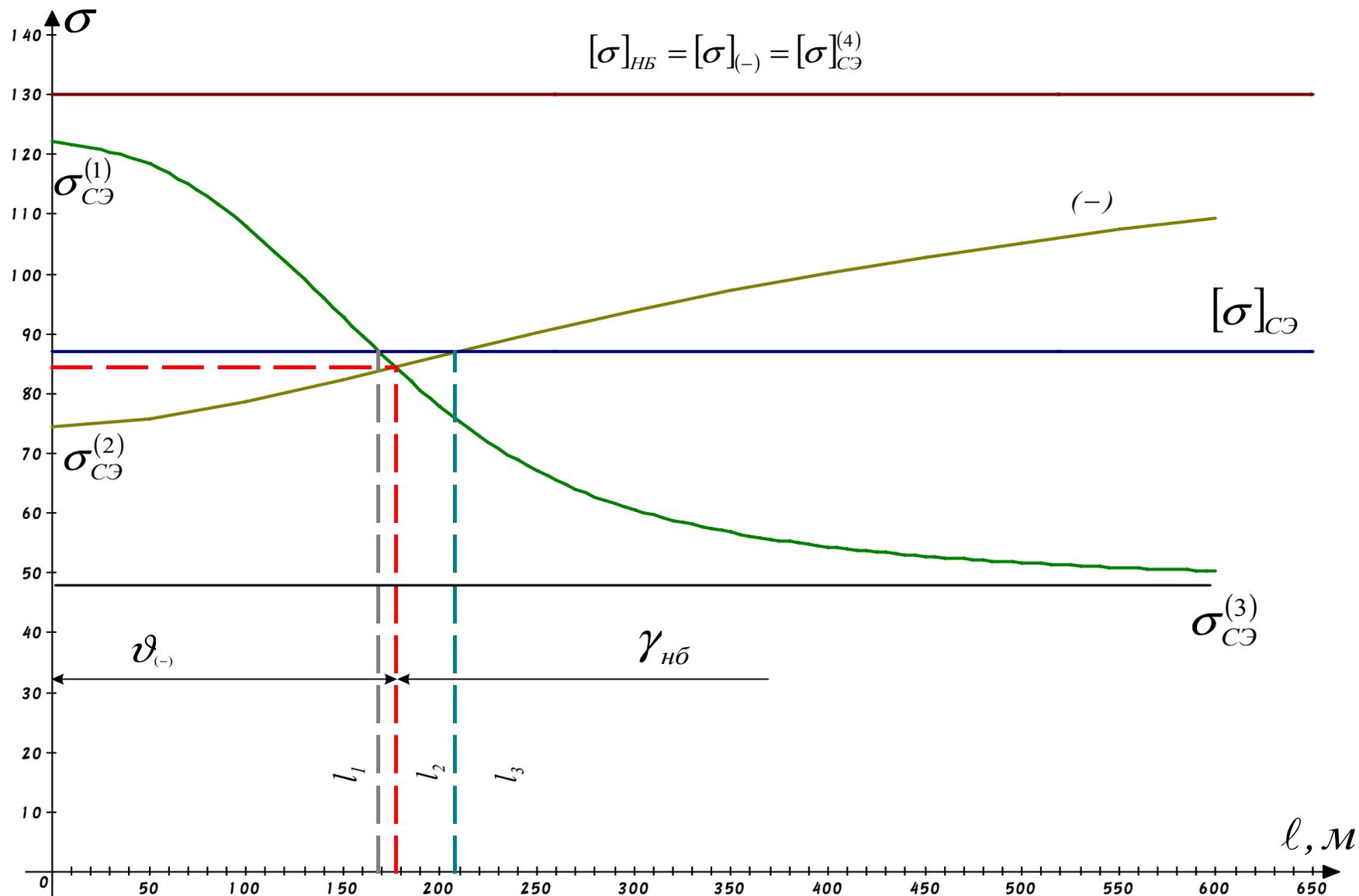


Рис.2.1. График зависимости напряжения в проводе от длины анкерного пролёта.

При вычислении критических длин рекомендуется придерживаться следующего порядка действий:

1. Рассчитывается уравнению состояния провода при $l_i \rightarrow 0$ напряжение $\sigma_{CЭ}^{(2)}$ при исходных условиях $\gamma_1, \vartheta_{(-)}, [\sigma]_{(-)}$:

$$\sigma_{CЭ}^{(2)} = [\sigma]_{(-)} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{(-)} - \vartheta_{CЭ}) \cdot \frac{H}{mM^2}. \quad (2-17)$$

Сравним $\sigma_{CЭ}^{(2)}$ с $[\sigma]_{CЭ}$. Если $\sigma_{CЭ}^{(2)} > [\sigma]_{CЭ}$, то $l_{кр}$ имеет мнимое значение, так как $\sigma_{CЭ} = f(l_i)$ при принятых исходных условиях не пересекается с прямой $[\sigma]_{CЭ}$. Значит, $l_{кр1}$ вычислять не нужно. Если же $\sigma_{CЭ}^{(2)} < [\sigma]_{CЭ}$, то $l_{кр1}$ следует вычислить:

$$l_{кр.1} = \frac{4,9 \cdot [\sigma]_{(-)}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_{(-)} - [\sigma]_{CЭ} + \alpha \cdot E (\vartheta_{(-)} - \vartheta_{CЭ})}{(1 - [\sigma]_{(-)}^2 / [\sigma]_{CЭ}^2) \cdot E}} \quad M. \quad (2-18)$$

2. При $l_i \rightarrow \infty$ находим $\sigma_{CЭ}^{(3)}$ при исходных условиях $\gamma_{нб}, \vartheta_{Г}, [\sigma]_{нб}$, а также

$$\sigma_{CЭ}^{(1)} = [\sigma]_{нб} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{Г} - \vartheta_{CЭ}) \cdot \frac{H}{mM^2}; \quad (2-19)$$

$$\sigma_{CЭ}^{(3)} = [\sigma]_{нб} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_{нб}} \cdot \frac{H}{mM^2}. \quad (2-20)$$

Сравним $\sigma_{CЭ}^{(3)}$ с $[\sigma]_{CЭ}$ если $\sigma_{CЭ}^{(1)} < [\sigma]_{CЭ}$ или $\sigma_{CЭ}^{(3)} > [\sigma]_{CЭ}$, то $l_{кр3}$ имеет мнимое значение и его вычислять не нужно. Если же $\sigma_{CЭ}^{(3)} < [\sigma]_{CЭ}$ и дополнительно $\sigma_{CЭ}^{(1)} > [\sigma]_{CЭ}$, то $l_{кр3}$ существует и её необходимо вычислить:

$$l_{кр.3} = \frac{4,9 \cdot [\sigma]_{нб}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_{нб} - [\sigma]_{CЭ} + \alpha \cdot E (\vartheta_{Г} - \vartheta_{CЭ})}{(\gamma_{нб}^2 / \gamma_1^2 - [\sigma]_{нб}^2 / [\sigma]_{CЭ}^2) \cdot E}} \quad M. \quad (2-21)$$

3. Если при этом оказывается, что $l_{кр1}$ или $l_{кр3}$ мнимые, то приступаем к выявлению определяющих климатических условий.

4. Если же $l_{кр1}$ и $l_{кр3}$ существуют, то сравниваем их значения между собой:

$l_{кр1} < l_{кр3}$, $l_{кр2}$ рассчитывать не имеет смысла;

$l_{кр1} > l_{кр3}$ - расчет $l_{кр2}$ необходим:

$$l_{кр.2} = \frac{4,9 \cdot [\sigma]_{нб}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{\alpha \cdot (\vartheta_{Г} - \vartheta_{(-)})}{\gamma_{нб}^2 / \gamma_1^2 - 1}} \quad M. \quad (2-22)$$

5. В зависимости от соотношений $l_{кр1}$, $l_{кр2}$, $l_{кр3}$ между собой, принимается соответствующий расчётный режим: режим наибольшей внешней нагрузки, либо режим наименьшей температуры, либо режим средних эксплуатационных условий.

Если $l_{кр2}$ не определяем, то:

- $\vartheta_{(-)}$ в интервале $0 < l_i < l_{кр1}$;
- СЭ – условия при $l_{кр1} < l_i < l_{кр3}$;
- $\gamma_{нб}$ при $l_{кр3} < l_i < \infty$.

Если $l_{кр2}$ определено, то:

- $\vartheta_{(-)}$ в интервале $0 < l_i < l_{кр2}$;
- $\gamma_{нб}$ при $l_{кр2} < l_i < \infty$.

III. Вычисление критической температуры, выбор сочетания климатических условий существования наибольших вертикальных стрел провисания проводов и расчёт габаритного пролета линии; построение шаблона для расстановки опор по продольному профилю трассы ВЛ в масштабах: по вертикали 1:500, по горизонтали 1:5000.

Критической называется условная температура воздуха (провода) $\vartheta_{кр}$, при которой провод, находящийся под нагрузкой только от собственной массы γ_1 , имеет такую же стрелу провисания, что и при расчетной нагрузке от собственной массы и массы гололеда γ_3 , при температуре гололедообразования и при отсутствии давления ветра на провод. Путем сравнения значения $\vartheta_{кр}$ с высшей температурой $\vartheta_{(+)}$ выявляются габаритные климатические условия.

Приближенное значение критической температуры рассчитывается по формуле:

$$\vartheta_{кр} = (\vartheta_r - 3) + \frac{\gamma_2}{\gamma_3} \cdot \frac{[\sigma]_{нб}}{\alpha \cdot E} \quad ^\circ C. \quad (3-1)$$

Возможны два случая:

1) Если $\vartheta_{кр} > \vartheta_{(+)}$,

то наибольшее провисание провода имеет место при нагрузке провода собственной массой и массой гололеда, т.е. при удельной механической нагрузке γ_3 при ϑ_r .

2) Если $\vartheta_{кр} < \vartheta_{(+)}$;

то наибольшее провисание провода имеет место при нагрузке провода только от собственной массы, т.е. γ_1 при $\vartheta_{(+)}$.

Габаритным называется промежуточный пролет ВЛ такой длины, при которой на ровной местности для заданных одинаковых высот подвески проводов на соседних опорах обеспечивается нормируемый вертикальный габарит от низшего провода до земли при климатических условиях, соответствующих наибольшему провисанию провода заданной марки.

Габаритный пролет является наивыгоднейшим при расстановке опор на ровной местности.

Значение габаритного пролета определяется путем решения уравнения состояния провода, в котором исходными являются расчетные условия по прочности (возможны в общем случае три варианта: $[\sigma]_{(-)}$, $[\sigma]_{сэ}$, $[\sigma]_{нб}$), а искомыми – габаритные условия.

Если предполагается, что $l_{габ} < l_{кр2}$ ($l_{габ} < l_{кр1}$), провод следует рассчитывать по условиям $\vartheta_{(-)}$, γ_1 , $[\sigma]_{(-)}$. Если же $l_{габ} > l_{кр2}$ ($l_{габ} > l_{кр3}$), то расчетные условия другие: $\gamma_{нб}$, ϑ_r , $[\sigma]_{нб}$. Если $l_{кр1} < l_{габ} < l_{кр3}$, то за исходные расчетные условия принимают $\vartheta_{сг}$, γ_1 , $[\sigma]_{сэ}$.

Уравнение состояния провода является биквадратным относительно длины и имеет вид:

$$A \cdot l_{заб}^4 - B \cdot l_{заб}^2 - C = 0, \quad (3-2)$$

где:

$$A = \frac{\gamma_{[f]}}{8f} + \left(\frac{\gamma_{[\sigma]}}{[\sigma]} \right)^2 \cdot \frac{E}{24}; \quad (3-3)$$

$$B = [\sigma] + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{[\sigma]} - \vartheta_{[f]}); \quad (3-4)$$

$$C = \frac{8}{3} \cdot [f]^2 \cdot E; \quad (3-5)$$

где $\sigma, \gamma_{[\sigma]}, \vartheta_{[\sigma]}$ - принимаются в зависимости от расчетных условий;
 $\gamma_{[f]}, \vartheta_{[f]}$ - соответствуют принятым габаритным климатическим условиям.

Габаритная длина рассчитывается по формуле:

$$l_{заб} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}} \text{ м.} \quad (3-6)$$

Если полученное значение $l_{заб}$ не соответствует интервалу длин, для которого определяющими являются выбранные расчетные условия, то следует рассмотреть другие расчетные условия.

Далее проводится вторая проверка значения $l_{заб}$. Для этого находится напряжение σ_n в нижней точке провода при габаритных климатических условиях для габаритного полета, вычисляется габаритная стрела провеса и сравнивается с допустимой f .

В уравнении состояния провода исходными будут расчетные условия, а искомыми – габаритные условия:

$$\sigma_{[f]} - \frac{\gamma_{[f]}^2 l_{заб}^2 E}{24 \sigma_{[f]}^2} = [\sigma] - \frac{\gamma_{[\sigma]}^2 l_{заб}^2 E}{24 [\sigma]^2} + \alpha E (\vartheta_{[\sigma]} - \vartheta_{[f]}). \quad (3-7)$$

Коэффициенты уравнения состояния провода будут иметь вид:

$$A = [\sigma] - \frac{\gamma_{[\sigma]}^2 \cdot l_{заб}^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma]^2} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{[\sigma]} - \vartheta_{[f]}); \quad (3-8)$$

$$B = \frac{\gamma_{[f]}^2 \cdot l_{заб}^2 \cdot E}{24}. \quad (3-9)$$

Структура уравнения, как и в предыдущем случае неполная кубическая

$$\sigma_{[f]}^3 - A\sigma_{[f]}^2 - B = 0 \quad (3-10)$$

решается методом Ньютона. Очевидно, что $\sigma_{[f]} < [\sigma]_{нб}$, поэтому в качестве нулевой итерации принимаем $[\sigma]_{нб}$.

Следующие расчеты приводим по формуле (2-8). Результаты расчетов для трех итераций приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$\sigma_{[f]_0}$	$\sigma_{[f]_1}$	$\sigma_{[f]_2}$	$\sigma_{[f]_3}$

Габаритная стрела провисания рассчитывается по формуле:

$$f_{заб} = \frac{\gamma_{[f]} \cdot l_{заб}^2}{8 \cdot \sigma_{[f]}} \text{ м.} \quad (3-11)$$

Полученное значение $f_{заб}$ должно получиться очень близким к значению $[f]$, определенному по (1-11).

В заключении уточняем значение $\vartheta_{кр}$:

$$\vartheta_{кр} = \vartheta_{[f]} + \frac{\gamma_2 \cdot \sigma_{[f]}}{\gamma_3 \cdot \alpha E}. \quad (3-12)$$

Истинное значение должно быть близко к приближенному.

Построение расстановочного шаблона.

Шаблон строится на основании расчета ординат кривой наибольшего провисания провода, принимаемой параболой, вершина которой располагается в начале координат:

$$y = \frac{\gamma_{[f]} \cdot x^2}{2 \cdot \sigma_{[f]}}. \quad (3-13)$$

Значения x рассматриваем в диапазоне $(0 \div 0,75) \cdot l_{заб}$. Удобно при этом ввести коэффициент $k_{ш}$:

$$k_{ш} = \frac{\gamma_{[f]} \cdot 10^4}{2 \cdot \sigma_{[f]}}. \quad (3-14)$$

тогда

$$y = k_{ш} \cdot \left(\frac{x}{100} \right)^2, \quad (3-15)$$

значение x зададим в метрах.

Две другие кривые шаблона («габаритная» и «земляная») равноудалены по вертикали от кривой наибольшего провисания соответственно на расстояния:

$$h = h_r + \Delta h \text{ м,} \quad (3-16)$$

где $\Delta h = 0,3 \text{ м}$ - запас по провисанию провода.

$$H_{подв.} = H_{тр}^{н\lambda} - \lambda \text{ м.} \quad (3-17)$$

Результаты расчета сводятся в таблицу 3.2, где верхние “у” рассчитываются реальными числами, а нижние – с учётом масштабного коэффициента.

Таблица 3.2

$x, м$	50	100	...	$l_{заб}/2$	0
$x, см$							
$y_1, м$							
$y_2, м$							
$y_3, м$							
$y_1, см$							
$y_2, см$							
$y_3, см$							

Построенный шаблон представлен на рис. 3.1.

На шаблоне обязательно следует указывать ограничения, соответствующие допустимым весовым нагрузкам для промежуточных опор, пользуясь понятием так называемого «весового» пролета. Наибольший допустимый весовой пролет обычно принимают равным $1,25 l_{заб}$.

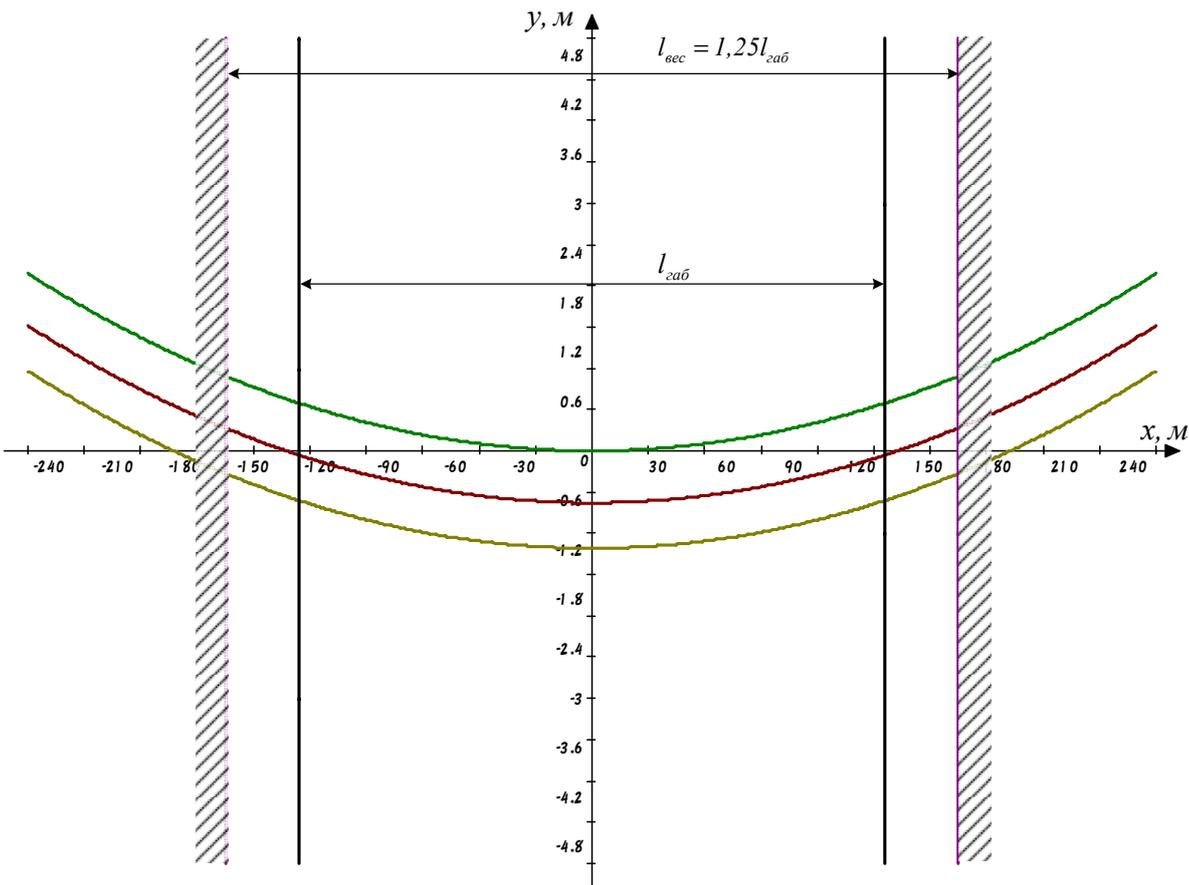


Рис.3.1. Расстановочный шаблон.

IV. Составление монтажной таблицы и построение монтажных графиков провода для характерных пролетов линии.

Доля частичной вытяжки, происходящей при монтаже, может оцениваться величиной, которая рассчитывается по формуле:

$$\nu \approx 0,05m \% \quad (4-1)$$

В расчете необходимо использовать значения модулей неупругости C (начального модуля), релаксации D и монтажного модуля C_m .

Для стали, используемой в проводах ВЛ модуль неупругости равен модулю релаксации: $C_c = D_c = 185 \frac{\kappa H}{\text{мм}^2}$.

Тогда

$$C = C_c \cdot \frac{1+0,286m}{1+m} \frac{\kappa H}{\text{мм}^2}; \quad (4-2)$$

$$D = D_c \cdot \frac{1+0,19m}{1+m} \frac{\kappa H}{\text{мм}^2}; \quad (4-3)$$

$$C_M = \frac{C}{1 + \left(\frac{C}{D} - 1\right) \cdot \nu} \frac{\kappa H}{\text{мм}^2}. \quad (4-4)$$

Приведенный пролет, характеризующий работу проводов в промежуточных пролетах анкерного участка линии, равен

$$l_{прв} = 0,9 \cdot l_{заб} \text{ м.} \quad (4-5)$$

Для приведенного пролета и нескольких значений монтажной температуры, варьируемой в пределах от $\vartheta_{(-)}$ до $\vartheta_{(+)}$ через $10^\circ C$, составляется и решается уравнение состояния провода, в зависимости от расчётного режима.

Если $l_{прв} > l_{кр2}(l_{кр3})$, то исходные условия соответствуют режиму наибольшей механической нагрузки;

Если $l_{прв} < l_{кр2}(l_{кр1})$, то исходные условия соответствуют режиму наиминишей температуры.

Если $l_{кр1} < l_{прв} < l_{кр3}$, то исходные условия соответствуют СЭ режиму.

Уравнение состояния провода выглядит следующим образом:

$$\frac{\gamma_{[\sigma]}^2 l_{прв}^2}{24[\sigma]^2} - \frac{\gamma_1^2 l_{прв}^2}{24\sigma_M^2} = \frac{[\sigma]}{D} - \frac{\sigma_M}{C_M} + \alpha(\vartheta_{[\sigma]} - \vartheta_M). \quad (4-6)$$

Преобразованное уравнение состояния имеет вид:

$$\sigma_M - \frac{\gamma_1^2 l_{np6}^2 C_M}{24 \sigma_M^2} = [\sigma] \cdot \frac{C_M}{D} - \frac{\gamma_{[\sigma]}^2 \cdot l_{np6}^2 \cdot C_M}{24 \cdot [\sigma]^2} + \alpha \cdot C_M \cdot (\vartheta_{[\sigma]} - \vartheta_M). \quad (4-7)$$

Структура уравнения неполная кубическая:

$$\sigma_M^3 - A \sigma_M^2 - B = 0. \quad (4-8)$$

$$A = [\sigma] \cdot \frac{C_M}{D} - \frac{\gamma_{[\sigma]}^2 \cdot l_{np6}^2 \cdot C_M}{24 \cdot [\sigma]^2} + \alpha \cdot C_M \cdot (\vartheta_{[\sigma]} - \vartheta_M); \quad (4-9)$$

$$B = \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{np6}^2 \cdot C_M}{24}.$$

Рассматриваем ситуацию, когда монтаж производится при среднегодовой температуре, т.е. $\vartheta_M = \vartheta_{CT}$.

При $A > 0$:

$$\sigma_{M0} = 1,02 \cdot \sqrt{B^{\frac{2}{3}} + A^2} \cdot \frac{H}{\text{мм}^2}; \quad (4-10)$$

при $A < 0$:

$$\sigma_{M0} = 1,035 \cdot \sqrt{\frac{B}{B^{\frac{1}{3}} - A}} \cdot \frac{H}{\text{мм}^2}. \quad (4-11)$$

Общая формула итерационного счета имеет вид (2-8).

Проводя расчет для нескольких температур, получают значения, которые заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

$\vartheta_M, ^\circ C$	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
A									
$\sigma_{M,0}$									
$\sigma_{M,1}$									
$\sigma_{M,2}$									

Далее рассчитываются стрелы провисания провода для приведенного пролета по формуле для параболы:

$$f_{npв} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{npв}^2}{8 \cdot \sigma_M} \text{ м.} \quad (4-12)$$

Кроме $l_{npв}$, рассматривается $l_{заб}$ и $l_{вес}$. Результаты расчетов заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

Монтажные стрелы провисания $f(\vartheta_M)$								
$l_2, \text{ м}$	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	$+10^{\circ}\text{C}$	$+20^{\circ}\text{C}$	$+30^{\circ}\text{C}$	$+40^{\circ}\text{C}$
$l_{npв}$								
$l_{заб}$								
$l_{вес}$								

Для других характерных длин промежуточных пролетов внутри анкерванного участка $l_{заб}$ и $l_{вес}$ стрелы провисания определяем пересчетом на основании примерного равенства напряжений в низших точках проводов во всех пролетах:

$$f_i = f_{npв} (l_i / l_{npв})^2 \text{ м.} \quad (4-13)$$

Затем производим построение монтажных графиков (рис.4.1).

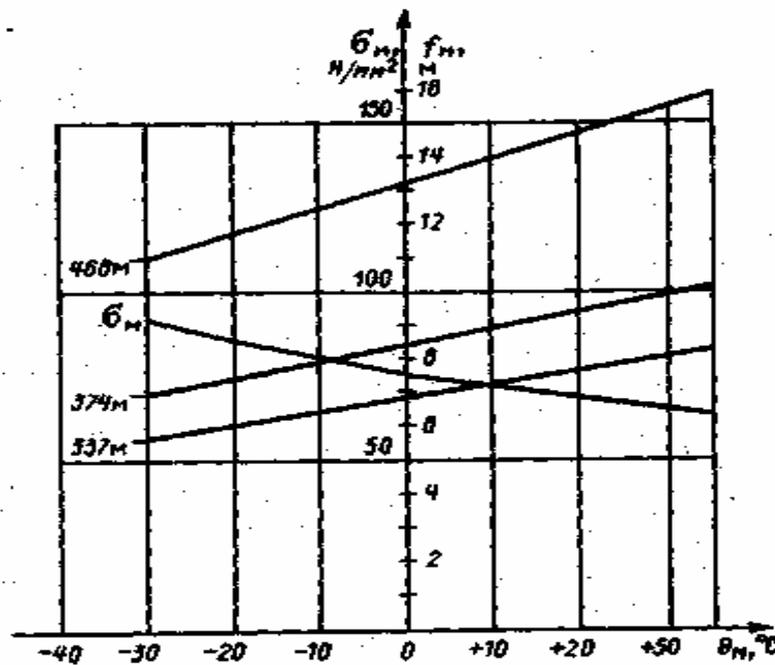


Рис. 4.1. Монтажные графики провода

V. Выбор подвесных изоляторов для крепления проводов к промежуточным, анкерным опорам.

Выбор изоляторов поддерживающих гирлянд.

В соответствии с ПУЭ (раздел 2.5.6 в [2]) расчет подвесных изоляторов производится по методу разрушающих нагрузок. Коэффициенты запаса прочности изоляторов нормируются для двух нормальных и для аварийного режимов работы. Под коэффициентом запаса прочности при этом понимают отношение электромеханической разрушающей нагрузки изолятора данного типа к наибольшей нормативной нагрузке, действующей на гирлянду изоляторов.

Расчетные выражения для нормальных режимов применительно к расчетам поддерживающих гирлянд изоляторов следующие:

- 1) режим наибольшей механической нагрузки

$$2,7(n_{\phi}\gamma_{н\bar{o}}S_{\Sigma}l_{вес} + G_r) \leq R \quad Н; \quad (5-1)$$

- 2) режим средних эксплуатационных условий

$$5,0(n_{\phi}\gamma_1S_{\Sigma}l_{вес} + G_r) \leq R \quad Н; \quad (5-2)$$

где n_{ϕ} – число проводов в расщепленной фазе;

S – суммарное сечение провода, $мм^2$;

$l_{вес}$ – наибольший весовой пролет линии, соответствующий указанному в паспортных данных применяемой промежуточной опоры;

G_r – ориентировочный вес гирлянды изоляторов, принимаемый в зависимости от номинального напряжения ВЛ.

При обрыве провода на поддерживающую гирлянду кроме весовых нагрузок от проводов и самой гирлянды действует неуравновешенное редуцированное (т.е. сниженное) тяжение, направленное горизонтально. Поэтому нормативную нагрузку вычисляют как геометрическую сумму сил:

$$1,8 \cdot \sqrt{\left(n_{\phi}\gamma_1S_{\Sigma}\frac{l_{вес}}{2} + G_r\right)^2 + (k_{p\bar{o}} \cdot T_{н\bar{o}})^2} \leq R \quad Н, \quad (5-3)$$

где $T_{н\bar{o}}$ - наибольшее натяжение в проводе, определяемое по формуле:

$$T_{н\bar{o}} = n_{\phi} \cdot S_{\Sigma} \cdot [\sigma]_{н\bar{o}} \quad Н, \quad (5-4)$$

где $k_{p\bar{o}}$ - коэффициент редукции, определяемый в зависимости от марки и сечения провода, материала изготовления опоры и её конструкции [2].

Из полученных трёх значений выбираем максимальное F_{\max} , по которому и определяем расчётный режим для выбора изоляторов.

Выбор количества изоляторов следует производить по двум критериям:

- 1) по номинальному напряжению, которое способен выдержать 1 изолятор;
- 2) по номинальной разрушающей нагрузке, которая должна превосходить F_{\max} .

На основе этих двух сравнений выбирается окончательно количество изоляторов.

Справочные данные по изоляторам даны в [6].

Выбор изоляторов натяжных гирлянд.

Выбор изоляторов натяжных гирлянд производится по двум условиям:

- 1) режим наибольшей механической нагрузки:

$$2,7 \cdot \sqrt{\left(\gamma_{\text{нб}} \cdot S_{\Sigma} \cdot \frac{l_{\text{вс}}}{2} + G_{\Gamma}\right)^2 + ([\sigma]_{\text{нб}} \cdot S_{\Sigma})^2} \leq R \quad \text{Н}; \quad (5-5)$$

- 2) режим средних эксплуатационных условий:

$$5 \cdot \sqrt{\left(\gamma_1 \cdot S_{\Sigma} \cdot \frac{l_{\text{вс}}}{2} + G_{\Gamma}\right)^2 + (\sigma_{\text{сэ}} \cdot S_{\Sigma})^2} \leq R \quad \text{Н}. \quad (5-6)$$

Значение $\sigma_{\text{сэ}}$ должно быть рассчитано по уравнению состояния провода для приведенного пролета ($l_{\text{прв}}$) по формуле:

$$\sigma_{\text{сэ}} - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{\text{прв}}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\text{сэ}}^2} = [\sigma]_{\text{нб}} - \frac{\gamma_{\text{нб}}^2 \cdot l_{\text{прв}}^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma]_{\text{нб}}^2} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{\Gamma} - \vartheta_{\text{сг}}); \quad (5-7)$$

$$A = [\sigma]_{\text{нб}} - \frac{\gamma_{\text{нб}}^2 \cdot l_{\text{прв}}^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma]_{\text{нб}}^2} + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_{\Gamma} - \vartheta_{\text{сг}}); \quad (5-8)$$

$$B = \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{\text{прв}}^2 \cdot E}{24}; \quad (5-9)$$

$$\text{при } A > 0, \quad \sigma_{\text{сэ},0} = 1,02 \cdot \sqrt{B^{\frac{2}{3}} + A^2};$$

$$\text{при } A < 0, \quad \sigma_{\text{сэ},0} = 1,035 \cdot \sqrt{\frac{B}{B^{\frac{1}{3}} - A}}.$$

Итерационная формула представлена в виде (2-8).

В качестве начального приближения в итерационную формулу $\sigma_{сэk}$ подставляется значение $[\sigma]_{нб}$.

Таблица 5.1

$\sigma_{сэ0}$	$\sigma_{сэ1}$	$\sigma_{сэ2}$	$\sigma_{сэ3}$

Полученный в результате итерации $\sigma_{сэ3} \frac{H}{мм^2}$, проверяем по графическим зависимостям рис.2.1 и подставляем в формулу расчета средних эксплуатационных условий (5-6).

Выбираем максимальное из этих двух значений $F_{max} H$, которое и будет использоваться в качестве расчётного.

Выбор количества изоляторов производится аналогично, как и для поддерживающей гирлянды.

Справочные данные по изоляторам даны в [6].

Примечание: при выборе изоляторов необходимо учесть климатические условия места расположения ВЛ.

VI. Расчёт аварийного режимов ВЛ при обрыве провода во втором пролете от анкерной опоры и вывод о допустимости приближения провода к поверхности земли.

В соответствии с заданием производится выбор анкерной опоры по [4]. Определяются геометрические размеры опоры, и приводится ее внешний вид.

Рассчитывается фактическая высота подвеса провода в промежуточной опоре по формуле:

$$h_{np}^n = H_{np}^{нжс} - \lambda \quad \text{м}, \quad (6-1)$$

где $H_{np}^{нжс}$ - высота нижней траверсы промежуточной опоры, м;

λ - высота поддерживающей гирлянды, м.

Разница высот подвески провода в пролете между анкерной и промежуточной опорами составит:

$$\Delta h_{ан} = h_{np}^n - H_{анк}^{нжс} \quad \text{м}, \quad (6-2)$$

где $H_{анк}^{нжс}$ - высота нижней траверсы анкерной опоры.

Ввиду того, что разность высот закрепления проводов на анкерной и промежуточной опоре отличаются на $\Delta h_{ан}$, длину пролета $l_{ан}$ (рис.6.1.) нельзя принимать равной габаритной, а следует рассчитать по формуле:

$$l_{ан} = (\sqrt{[f]} + \sqrt{[f] - \Delta h_{ан}}) \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\sigma_{[f]}}{\gamma_{[f]}}} \quad \text{м}, \quad (6-3)$$

где $\gamma_{[f]}$ и $\sigma_{[f]}$ - значения напряжения и стрелы провеса в нижней точке при наибольшем провисании (см. расчет критических условий).

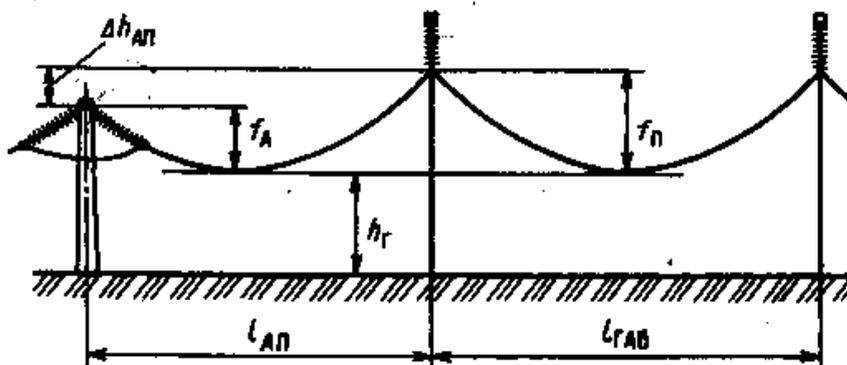


Рис. 6.1. Определение длины пролета между анкерной и промежуточной опорами

Обрыв провода рассматривается при среднеэксплуатационных условиях, когда напряжение в нижней точке равно $\sigma_{\text{СЭЗ}}$.

До обрыва провода длина провода - параболы равнялась:

$$L = \frac{l_{an}}{\cos \psi} + \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{an}^3}{24 \cdot \sigma_{\text{СЭЗ}}^2} = \frac{l_{an}}{\cos \psi} + \rho_0 \quad \text{м}; \quad (6-4)$$

где:

$$\rho_0 = \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{an}^3}{24 \cdot \sigma_{\text{СЭЗ}}^2}. \quad (6-5)$$

Угол ψ определяется по формуле:

$$\psi = \arctg \frac{\Delta h_{an}}{l_{an}}, \quad (6-6)$$

Длина провода после обрыва рассчитывается по формуле:

$$L \approx \frac{l_{an} - \Delta l}{\cos \psi} + \frac{(l_{an}^3 - 3 \cdot l_{an}^2 \cdot \Delta l)}{l_{an}^3} \rho_0 \cdot \frac{\sigma_{\text{СЭЗ}}^2}{\sigma_{\text{р0}}^2} \quad \text{м}; \quad (6-7)$$

где:

$$\Delta l = 0,97 \cdot \lambda \quad \text{м}. \quad (6-8)$$

Приравнивая (6-4) и (6-7) находим величину редуцированного напряжения в проводе:

$$\sigma_{\text{р0}} = \sigma_{\text{СЭЗ}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 3 \cdot \frac{\Delta l}{l_{an}}}{1 + \frac{\Delta l}{\rho_0 \cdot \cos \psi}}} \cdot \frac{H}{\text{мм}^2}. \quad (6-9)$$

Вычисляется отношение $\frac{\sigma_{\text{СЭЗ}}}{\sigma_{\text{р0}}}$, т.е. во сколько раз уменьшится напряжение в проводе после обрыва.

Угол ψ' после обрыва определяется по формуле:

$$\psi' = \arctg \frac{\Delta h_{an} - \lambda}{l_{an}}, \quad (6-10)$$

Найдем положение нижней точки провода относительно начала координат после обрыва:

$$a = \frac{l_{an}}{2} - \frac{\sigma_{\text{р0}}}{\gamma_1} \text{tg} \psi' \quad \text{м}. \quad (6-11)$$

Стрела провеса в анкерном пролете определится по формуле:

$$f_a = \frac{\gamma_1 \cdot (2 \cdot a)^2}{8 \cdot \sigma_{p0}} \text{ м.} \quad (6-12)$$

Расчётная стрела провеса f_a сравнивается с допустимой $[f]$ - наибольшей стрелой провисания, и делается вывод о допустимости приближения провода к поверхности земли в заданной местности.

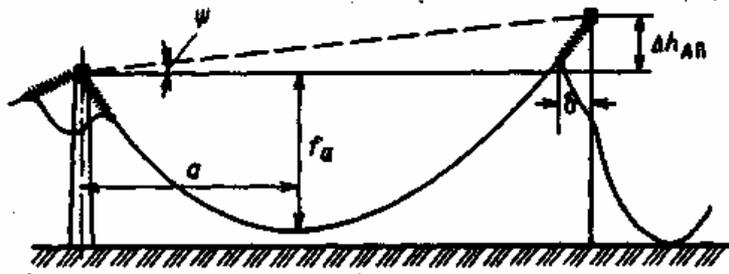


Рис. 6.2. Провисание провода в пролете между анкерной и промежуточной опорами после его обрыва во втором пролете от анкерной опоры

VII. Расстановка опор по профилю трассы с помощью программы Route.

Программа ROUTE установлена на ПК в аудитории 519-3 и позволяет выполнить расстановку опор на участке трассы, ограниченном с двух сторон анкерными опорами с натяжными гирляндами изоляторов. Остальные опоры промежуточными поддерживающими гирляндами изоляторов.

Для работы программы необходимы следующие исходные данные:

- 1) габаритный пролет L_{gab} ;
- 2) габаритное расстояние от провода до поверхности земли h_{gab} ;
- 3) условия максимальной стрелы провеса провода (габаритные условия):
 - ✓ удельная механическая нагрузка γ ;
 - ✓ температура t ;
 - ✓ механическое напряжение σ ;
- 4) высота до нижней траверсы промежуточной опоры H_c ;
- 5) высота до нижней траверсы анкерной опоры H_c ;
- 6) длина гирлянды изоляторов λ ;
- 7) координаты точек профиля трассы ВЛ (x и h).

Перед началом работы делается кусочнолинейная аппроксимация продольного профиля трассы ВЛ и определяются координаты переломных точек профиля: x – расстояние от точки отсчета (это может быть положение первой анкерной опоры, но не обязательно) и h – отметка уровня этой точки относительно принятого нулевого уровня. Всего таких точек может быть не более 1000.

Вся эта информация вводится в диалоговом режиме в ответ на соответствующие запросы. Признаком конца ввода информации является ввод координаты профиля $x=0$.

Все исходные данные могут быть заранее записаны в файл в следующей последовательности (числа отделяются друг от друга пробелами):

```
Lgab hgab  
gamma t sigma  
Hc(пром) Hc(анк) lambda  
x h  
(для всех точек профиля)  
0 0
```

После ввода всей необходимой информации начинается расстановка опор. Возможны два режима работы программы:

1. Автоматическая расстановка опор на всем заданном участке трассы ВЛ.

2. Расстановка опор пролет за пролетом. В этом режиме работы программы после окончания расчета каждого пролета на дисплей выводится рассчитанный пролет и следует запрос о согласии с рассчитанным местом установки опоры. При положительном ответе выполняется расчет следующего пролета и т.д. до конца участка трассы. При отрицательном ответе следует

ввести желаемую длину пролета, после чего будет выполнен перерасчет этого пролета. Следует иметь в виду, что увеличение длины пролета по сравнению с рекомендованной длиной приведет к нарушению заданных габаритных условий.

При работе программы первой устанавливается анкерная опора в первой заданной точке трассы $x(1)$. Затем выполняется расстановка промежуточных опор. Расстояние между опорами определяется из условия соблюдения заданного габарита линии над заданными точками профиля трассы и в точке максимального провеса провода в пролете. По достижении последней точки профиля определяется место установки второй анкерной опоры.

Результаты расстановки опор выводятся на дисплей. Это номер пролета, расстояние от начала участка трассы до этого пролета x , длина пролета l , отметка уровня левой опоры h_1 , отметка уровня правой опоры h_2 , расстояние от начала участка трассы до точки максимального провеса провода X_{cp} и габарит линии в этой точке h_{cp} . Эти же результаты записываются в файл результатов на диске. Имя файла задается в начале работы с программой.

После окончания расстановки опор вычисляется длина приведенного пролета L_e и длина участка линии между анкерными опорами L .

Далее следует запрос: нужно ли изменить расстановку опор? Это может потребоваться в том случае, если окажется, что приведенный и габаритный пролеты отличаются более чем это требуется по условиям пользователя.

При положительном ответе на запрос следует после этого ввести дополнительную информацию:

- 1) исходные расчетные условия для приведенного пролета:
 - удельная механическая нагрузка γ ;
 - температура t ;
 - допускаемое механическое напряжение $[\sigma]$;
- 2) модуль упругости E (модуль Юнга);
- 3) температурный коэффициент линейного удлинения провода α .

После этого будет определено значение механического напряжения в проводе, соответствующее приведенному пролету и заданным исходным условиям, и новое значение габаритного пролета при этом механическом напряжении. Затем выполняется новая расстановка опор, и после ее завершения определяется новое значение приведенного пролета. При отрицательном ответе на запрос о необходимости изменения расстановки опор на дисплее появляется сообщение "To continue press ENTER" и РС переходит в режим ожидания.

После нажатия клавиши ENTER начинается работа второй части программы построение графического изображения расстановки опор. На дисплее изображается участок трассы с 4 пролетами ВЛ. После нажатия клавиши ENTER появляются следующие 4 пролета и т.д. до тех пор, пока не будет изображен весь участок трассы длиной L .

Для запуска программы необходимо:

1. Запустить в память программу PCXGRAB с параметром /i (PCXGRAB.exe/i) (см. инструкцию к программе)
2. Запустить программу Route.exe.
3. После расчёта программа предложит вывести результаты расстановки опор.

После каждой прорисовки необходимо нажать клавиши ALT+G, при этом должен возникать звук внешнего динамика, а потом ENTER. В результате после каждого нажатия должен формироваться файл с расширением *.рсх* в негативе. После любым графическим редактором получаем из него позитив (белый). Лучше поменять и формат рисунка на TIFF.

Список литературы:

1. Белоруссов Н.И., Саакан А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры.- М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.
2. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. М., ЗАО “Энергосервис”, 2000. – 608с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.
4. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. в 2 кн. Кн.1. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. редакцией профессоров МЭИ: Попова А.И. и др. 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2002.-964с.
5. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ Под ред. Круповича В.И., Барыбина Ю.Г., Самовера М.Л. М., Энергоиздат, 1981. – 408с.
6. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения/ Под ред. Баумштейна И.А., Бажанова С.А. М., Энергоатомиздат, 1989. – 768с.