

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту

**«МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ
ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ»**

з курсу «Технічна механіка»

*(для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання
з напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та
електротехнології» та слухачів другої вищої освіти)*

Харків – ХНАМГ – 2009

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Механічний розрахунок повітряних ліній електропередач» з курсу «Технічна механіка» (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання з напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» та слухачів другої вищої освіти) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Шпачук В. П., Склярів В. О. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 98 с.

Укладачі: В. П. Шпачук,
В. О. Склярів

Рецензент: професор Грїб О. Г.

Рекомендовано кафедрою теоретичної і прикладної механіки,
протокол № 10 від 25.02.09 р.

ВСТУП

Ці вказівки призначені для самостійної роботи при вивченні технічної механіки студентами усіх форм навчання спеціальностей «Електропостачання міст», «Світлотехніка і джерела світла». Розглянуто основні етапи механічного розрахунку повітряних ліній (ПЛ) електропередач. Основні вимоги до ПЛ визначені Правилами влаштування електроустановок (ПУЕ). У вказівках розглянуті питання розрахунку проводу і грозозахисного троса: визначення навантажень, вибір вихідного режиму, визначення напружень і стріл прогину. Розглянуті також питання вибору й розрахунку ізоляторів і проміжної опори.

Вказівки до виконання роботи

Усі розрахунки виконують в одиницях СІ і вказують розмірність шуканих величин.

Точність розрахунків залежить від обумовленої величини. Якщо є ціла частина числа, то точність не перевищує двох знаків після коми (наприклад, 645,74). Якщо ж ціла частина дорівнює нулю, то точність не перевищує трьох значущих цифр (наприклад, 0,0342).

Креслення виконують з дотриманням норм і правил ЕСКД.

Основні позначення, прийняті у вказівках:

α_y – коефіцієнт нерівномірності розподілу тиску вітру ;

α_t – температурний коефіцієнт лінійного розширення;

γ – приведені навантаження на провід чи трос;

σ – напруження механічне;

$[\sigma]$ – допустиме напруження;

n – коефіцієнт запасу міцності;

$[n]$ – коефіцієнт запасу міцності, що допускається;

R – розривне зусилля проводу, чи троса;

R – електромеханічне руйнівне навантаження ізолятора;

f – стріла прогину проводу чи троса, прогин опори;

t – температура навколишнього середовища.

Індекси при відповідних величинах означають:

+ – режим вищої температури ;

– – режим нижчої температури;

v – режим максимального вітрового навантаження ;

o – режим ожеледі з вітром;

$o1$ – режим ожеледі без вітру ;

E – режим середньорічної температури;

n – нормальний режим;

A – аварійний режим.

Наприклад: σ_+ – механічне напруження при вищій температурі;

$[\sigma]_E$ – механічне напруження, що допускається, при середньорічній температурі;

f_{o1} – стріла прогину в режимі ожеледі без вітру;

n_A – коефіцієнт запасу міцності в аварійному режимі.

Варіанти завдань

Студент вибирає вихідні дані проекту за своїм шифром, що складається з двох останніх цифр залікової книжки. Наприклад, шифр 35, де 3 – перша цифра, а 5 – друга цифра. За першою цифрою

визначається напруга мережі, за другою – прольот між опорами, також за другою цифрою і напругою мережі визначаються марка проводу, район кліматичних умов і середньорічна температура повітря (табл. 1, 2, 3).

Таблиця 1

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Перша цифра шифру | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Напруга мережі, кВ | 35 | 110 | 150 | 220 | 35 | 110 | 150 | 220 | 110 | 150 |

Таблиця 2

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Друга цифра шифру | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Прольот, м | 150 | 240 | 140 | 230 | 160 | 140 | 170 | 140 | 160 | 190 |

Таблиця 3

| Друга цифра шифру | Марка проводу при нарузі мережі, кВ | | | | Район кліматичних умов | | Середньорічна t ⁰ C |
|-------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|----------|--------------------------------|
| | 35 | 110 | 150 | 220 | Вітер | Оже-ледь | |
| 1 | АС 50/8 | АС 70/11 | АС 150/24 | АС 240/32 | I | III | + 9 |
| 2 | АС 70/11 | АС 95/16 | АС 150/34 | АС 185/43 | IV | II | + 6 |
| 3 | АС 95/16 | АС 120/27 | АС 185/43 | АС 240/39 | II | IV | -6 |
| 4 | АС 50/8 | АС 120/19 | АС 150/24 | АС 185/29 | II | III | + 4 |
| 5 | АС 120/27 | АС 150/34 | АС 185/43 | АС 240/32 | I | IV | -4 |
| 6 | АС 95/16 | АС 120/27 | АС 240/32 | АС 240/39 | IV | IV | -2 |
| 7 | АС 50/8 | АС 150/19 | АС 240/39 | АС 185/24 | III | II | + 2 |
| 8 | АС 70/11 | АС 185/29 | АС 150/19 | АС 240/32 | III | III | 0 |
| 9 | АС 95/16 | АС 120/19 | АС 240/39 | АС 185/43 | IV | III | + 3 |
| 0 | АС 120/27 | АС 150/34 | АС 185/43 | АС 240/39 | III | IV | -3 |

Примітка:

1. Температура повітря: вища $+40^{\circ}\text{C}$; нижча -40°C ; при ожеледі -5°C .
2. Точки підвісу проводу розташовані на одній висоті.

Зміст проекту

Розрахунок проводу.

Розрахунок грозозахисного троса.

Вибір гірлянди ізоляторів.

Вибір і розрахунок проміжної опори.

Розрахунок елементів траверс.

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

1. ВИХІДНІ ДАНІ

Шифр варіанта...

Напруга мережі $U = 150$ кВ.

Довжина прольоту $l = 300$ м.

Провід АС 150/24.

Район кліматичних умов: за напором вітру IV; за ожеледдю IV. Температура повітря: вища $+40^{\circ}\text{C}$; нижча -40°C ; середньорічна 0°C ; при ожеледі -5°C .

2. РОЗРАХУНОК ПРОВОДУ

2.1. Фізико-механічні характеристики проводу

АС 150/24 (дод. 1,2)

Марка проводу АС 150/24.

Переріз алюмінієвої частини $A = 149$ мм², сталевого осердя $C = 24,2$ мм². Площа перерізу проводу:

$$F = A + C = 149 + 24,2 = 173,2 \text{ мм}^2.$$

Відношення площ $A : C = 6,14$.

Діаметр проводу $d = 17,1$ мм.

Розривне зусилля проводу $R \geq 52279$ Н.

Межа міцності на розрив $\sigma_{\text{вр}} = 290$ МПа.

Маса 1 м проводу 0,613 кг/м.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення
 $\alpha_t = 19,2 \cdot 10^{-6}$ (град.⁻¹).

Модуль пружності проводу $E = 8,1 \cdot 10^4$ МПа.

2.2. Розрахунок приведених навантажень на провід

Згідно з ПУЕ 8-го видання проводи і троси розраховують за методом допустимих напружень. У цьому випадку міцність проводу забезпечується нормованим значенням допустимого напруження. Для проводів витримується коефіцієнт запасу не менше двох.

У розрахунках проводів за методом допустимих напружень розглядаються сім видів нормативних навантажень.

2.2.1. Приведене навантаження від власної ваги проводу (дод. 2)

$$\gamma_1 = 0,0347 \text{ Н}/(\text{м} \cdot \text{мм}^2).$$

2.2.2. Приведене навантаження від ожеледі

$$\gamma_2 = \frac{2,83 \cdot b \cdot (d + b) \cdot 10^{-2}}{F} = \frac{2,83 \cdot 20 \cdot (17,1 + 20) \cdot 10^{-2}}{173,2} = 0,121 \text{ Н}/(\text{м} \cdot \text{мм}^2),$$

де $b = 20$ мм – товщина стінки ожеледі (дод. 3) для IV району;
 $d = 17,1$ мм – діаметр проводу;
 $F = 173,2$ мм² – площа перерізу проводу.

2.2.3. Приведене навантаження проводу, покритого ожеледдю

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 = 0,0347 + 0,121 = 0,156 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}.$$

2.2.4. Приведене вітрове навантаження на провід без ожеледі (дод. 4)

$$\gamma_4 = \frac{\alpha_v \cdot k_e \cdot c_x \cdot q \cdot d \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{0,73 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 650 \cdot 17,1 \cdot 10^{-3}}{173,2} = 0,0562 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)},$$

де $q = 650$ Н/м² – максимальний нормативний швидкісний напір вітру (дод.4) для IV району;

$\alpha_v = 0,73$ – коефіцієнт нерівномірності тиску вітру;

$k_e = 1$ – коефіцієнт впливу довжини прольоту $l = 300$ м;

$c_x = 1,2$ – коефіцієнт лобового опору для $d = 17,1$ мм.

2.2.5. Приведене вітрове навантаження на провід, покритий ожеледдю (дод. 3 і 4)

$$\gamma_5 = \frac{\alpha_v \cdot k_e \cdot c_x \cdot q_0 \cdot (d + 2b) \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 163 \cdot (17,1 + 2 \cdot 20) \cdot 10^{-3}}{173,2} = 0,0645 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)},$$

де $q_0 = 0,25 \cdot q = 0,25 \cdot 650 = 163 \text{ Н/м}^2$ – вітрове навантаження при ожеледі – приймати не менше 140 Н/м^2 у районах з товщиною стінки ожеледі $b \geq 15 \text{ мм}$, приймаємо $q_0 = 163 \text{ Н/м}^2$, тому що $q_0 = 163 > 140 \text{ Н/м}^2$ і $b = 20 \text{ мм}$;

$\alpha_v = 1$ при $q_0 = 163 \text{ Н/м}^2$ (дод. 4); $k_e = 1$ при $l = 300 \text{ м}$;

$c_x = 1,2$ – для проводів, покритих ожеледдю;

$d = 17,1 \text{ мм}$ – діаметр проводу;

$b = 20 \text{ мм}$ – товщина стінки ожеледі для IV району по ожеледі (дод. 3).

2.2.6. Приведене навантаження від ваги проводу і вітрового навантаження на провід без ожеледі

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2} = \sqrt{0,0347^2 + 0,0562^2} = 0,066 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}.$$

2.2.7. Приведене навантаження від ваги проводу, покритого ожеледдю, і вітрового навантаження на провід, покритий ожеледдю

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} = \sqrt{0,156^2 + 0,0645^2} = 0,169 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}.$$

2.2.8. Результати розрахунків приведених навантажень на провід (табл. 2.1)

Таблиця 2.1

| № п/п | Приведене навантаження | Позначення | t °С | Навантаження, Н/(м·мм ²) |
|-------|--|------------|--------|--------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Власна вага проводу | γ_1 | - | 0,0347 |
| 2 | Власна вага ожеледі | γ_2 | -5 | 0,121 |
| 3 | Вага проводу з ожеледдю | γ_3 | -5 | 0,156 |
| 4 | Вітрове навантаження на провід | γ_4 | - | 0,0562 |
| 5 | Вітрове навантаження на провід з ожеледдю | γ_5 | - | 0,0645 |
| 6 | Вага проводу і вітрове навантаження | γ_6 | - | 0,066 |
| 7 | Вага проводу з ожеледдю і вітровим навантаженням | γ_7 | -5 | 0,169 |

2.3. Критичні прольоти. Вибір вихідного режиму

Механічний розрахунок проводів і тросів ПЛ напругою вище 1000 В виконують за таких основних режимів:

- при найбільшому зовнішньому навантаженні (γ_{\max} , t_0);

- при нижчій температурі ($\gamma_- = \gamma_1$, t_-);

при середньорічній температурі без вітру і ожеледі ($\gamma_E = \gamma_1$, t_E).

Визначення вихідного режиму, тобто режиму, при якому в нижній точці стріли провисання проводу в одному з названих режимів напруження дорівнюють допустимим напруженням, виконують за допомогою зіставлення критичних прольотів і заданого прольоту.

Критичним прольотом називають прольот, при якому напруження досягають допустимих значень у двох основних режимах .

Дані для розрахунку: провід АС 150/24;

- співвідношення $A : C = 6,14$ (п. 2.1);

- модуль пружності проводу $E = 8,1 \cdot 10^4$ МПа;

- температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_t = 19,2 \cdot 10^{-6}$ (град. $^{-1}$);

- напруження, що допускається при найбільшому навантаженні (ожеледь) нижчій температурі $[\sigma]_o = [\sigma]_- = 130$ МПа (дод. 2);

- напруження, що допускається при середньорічній температурі $[\sigma]_E = 87$ МПа;

температура повітря:

- нижча $t_- = -40$ $^{\circ}\text{C}$;

- при ожеледі $t_0 = -5$ $^{\circ}\text{C}$;

- середньорічна $t_E = 0$ $^{\circ}\text{C}$.

Приведені навантаження:

$\gamma_1 = 0,0347$ Н/(м \cdot мм 2); $\gamma_{\max} = \gamma_7 = 0,169$ Н/(м \cdot мм 2).

Примітка: якщо $\gamma_6 > \gamma_7$, то $\gamma_{\max} = \gamma_6$.

Знаходимо три критичних прольоти [1]:

$$\ell_{1k} = \frac{1}{\gamma_1} \sqrt{\frac{24 \left[\frac{|\sigma|_- - |\sigma|_E}{E} + \alpha_t (t_- - t_E) \right]}{\frac{1}{[\sigma]_-^2} - \frac{1}{[\sigma]_E^2}}} =$$

$$= \frac{1}{0,0347} \sqrt{\frac{24 \left[\frac{130-87}{81 \cdot 10^3} + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-40-0) \right]}{\frac{1}{130^2} - \frac{1}{87^2}}} = 254,6 \text{ м};$$

$$\ell_{2k} = [\sigma]_o \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha_t (t_0 - t_-)}{\gamma_{\max}^2 - \gamma_1^2}} = 130 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-40))}{0,169^2 - 0,0347^2}} = 99,8 \text{ м};$$

$$\ell_{3k} = \sqrt{\frac{24 \left[\frac{|\sigma|_o - |\sigma|_E}{E} + \alpha_t (t_0 - t_c) \right]}{\frac{\gamma_{\max}^2}{[\sigma]_o^2} - \frac{\gamma_1^2}{[\sigma]_E^2}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{24 \left[\frac{130-87}{81 \cdot 10^3} + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5-0) \right]}{\frac{0,169^2}{130^2} - \frac{0,0347^2}{87^2}}} = 82,6 \text{ м}.$$

Співвідношення між критичними прольотами

$$\ell_{1k} = 254,6 > \ell_{2k} = 99,8 > \ell_{3k} = 82,6 \text{ м}.$$

Для заданого прольоту $\ell = 300 > \ell_{2k} = 99,8$ м і відповідно до дод. 5 вихідним режимом буде режим ожеледі з вітром, для якого:

$$[\sigma]_0 = 130 \text{ МПа}; \gamma_o = 0,169 \text{ Н}/(\text{м} \cdot \text{мм}^2); t_0 = -5^\circ \text{С}.$$

2.4. Напруження в матеріалі проводу і стріла прогину

Напруження в матеріалі проводу визначаємо за допомогою рівняння стану проводу [1]:

$$\sigma - \frac{\gamma^2 E l^2}{24 \sigma^2} = \sigma_{BP} - \frac{\gamma_{BP}^2 E l^2}{24 \sigma_{BP}^2} - \alpha_t E \cdot (t - t_{BP}), \quad (2.1)$$

де σ, γ, t – відповідне напруження, приведене навантаження і температура в шуканому режимі;

$\sigma_{BP}, \gamma_{BP}, t_{BP}$ – напруження, приведене навантаження і температура у вихідному режимі (позначимо BP).

Перетворимо рівняння (2.1):

$$\sigma^2 = \frac{D}{\sigma - B}. \quad (2.2)$$

Тут

$$B = \sigma_{BP} - \frac{\gamma_{BP}^2 E l^2}{24 \sigma_{BP}^2} - \alpha_t E \cdot (t - t_{BP}), \quad (2.3)$$

$$D = \frac{\gamma^2 E l^2}{24}. \quad (2.4)$$

Рівняння (2.2) розв'язуємо аналітичним і графічним способами.

При аналітичному розв'язанні запишемо (2.2) так:

$$y = \frac{D}{\sigma - B}; \quad (2.5)$$

$$\sigma = \sqrt{y}. \quad (2.6)$$

Методика розрахунку включає чотири етапи:

1. Обираємо початковий проміжок, в якому знаходиться корінь рівняння (2.2):

- якщо $B < 0$, то нижня межа $\sigma_n \approx 10$ МПа;

- якщо $B > 0$, то нижня межа $\sigma_n \approx B + 5$ (МПа);

- верхня межа проміжку σ_B дорівнює напруженню, яке допускається, режиму, що розглядається.

2. Обчислюємо середнє напруження проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_u + \sigma_B}{2}. \quad (2.7)$$

3. Визначаємо за напруженням σ_{cp} = за допомогою рівнянь (2.5), (2.6) одну границю проміжку наступного наближення і по цій границі з тих же рівнянь (2.5), (2.6) іншу границю проміжку.

4. Знаходимо з (2.7) середнє напруження наступного наближення.

Якщо $\sigma_B - \sigma_u < 0,5$, то процес уточнення припиняється, інакше переходимо до п. 3 методики.

При графічному розв'язанні рівняння (2.2) будемо графіки функцій

$$Y_1 = \sigma^2 \text{ (парабола)}, \quad (2.8)$$

$$Y_2 = \frac{D}{(\sigma - B)} \text{ (гіпербола)}. \quad (2.9)$$

Точки перетину графіків дають значення коренів рівняння (2.2).

Аналітичне вирішення рівняння (2.2):

Для розглянутого проводу прольотом $l = 300$ м;

$E = 8,1 \cdot 10^4$ МПа; $\alpha_t = 19,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ вихідним є режим

ожеледі з вітром.

Тобто $\sigma_{BP} = [\sigma]_o = 130$ МПа; $\gamma_{BP} = \gamma_7 = 0,169$ Н/(м·мм²);

$t_{BP} = -5$ °С.

Знаходимо з (2.3)

$$B = 130 - \frac{0,169^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 300^2}{24 \cdot 130^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot (t - (-5))$$

або $B = -383,3 - 1,56 \cdot (t + 5)$

Знаходимо напруження й стріли прогину проводу в основних режимах.

2.4.1. Режим вищої температури:

$$\gamma = \gamma_+ = \gamma_1 = 0,0347 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t = +40 \text{ }^\circ\text{C}$$

З рівнянь (2.3), (2.4) одержимо

$$D_+ = 0,0347^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{300^2}{24} = 365742,$$

$$B_+ = -383,3 - 1,56 \cdot (40 + 5) = -453,5.$$

Рівняння (2.5) приймає вигляд
$$y = \frac{365742}{\sigma + 453,3}.$$

Знаходимо межі проміжку першого наближення: нижня межа $\sigma_n = 10$ МПа ($B = -453,3$), верхня межа дорівнює напруженню, що допускається при середньоексплуатаційному режимі:

$$\sigma_e = [\sigma]_E = 87 \text{ МПа (дод.2).}$$

Обчислюємо середнє напруження проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{10 + 87}{2} = 48,5 \text{ МПа.}$$

З (2.5), (2.6) знаходимо:

$$y(48,5) = \frac{365742}{48,5 + 453,5} = 728,6; \sigma_n = \sqrt{728,6} = 27 \text{ МПа (нижня межа);}$$

$$y(27) = \frac{365742}{27 + 453,5} = 761,2; \sigma_e = \sqrt{761,2} = 27,6 \text{ МПа (верхня межа).}$$

Середнє напруження проміжку

$$\sigma_{cp} = \frac{27 + 27,6}{2} = 27,3 \text{ МПа.}$$

Продовжуємо обчислення

$$y(27,3) = \frac{365742}{27,3 + 453,5} = 760,7; \sigma_6 = \sqrt{760,7} = 27,6 \text{ МПа (нижня межа);}$$

$$y(27,6) = \frac{365742}{27,6 + 453,5} = 760,2; \sigma_n = \sqrt{760,2} = 27,6 \text{ МПа (верхня межа).}$$

Межі проміжку збігаються.

Тому

$$\sigma_+ = 27,6 \text{ МПа.}$$

Стріла прогину

$$f_+ = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_+} = \frac{0,0347 \cdot 300^2}{8 \cdot 27,6} = 14,1 \text{ м.}$$

2.4.2. Режим нижчої температури:

$$\gamma = \gamma_- = \gamma_1 = 0,0347 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2); t = t_- = -40 \text{ }^\circ\text{C;}$$

$$D_- = D_+ = 365742; B_- = -383,3 - 1,56 \cdot (-40 + 5) = -328,7.$$

Рівняння (2.5) приймає вигляд:

$$y = \frac{365742}{\sigma + 328,7}.$$

Межі проміжку $\sigma_n = 10 \text{ МПа; } \sigma_6 = [\sigma]_- = 130 \text{ МПа.}$

Обчислимо середнє напруження проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{10 + 130}{2} = 70 \text{ МПа.}$$

Тоді

$$y(70) = \frac{365742}{70 + 328,7} = 917,3; \sigma_n = \sqrt{917,3} = 30,3 \text{ МПа (нижня межа);}$$

$$y(30,3) = \frac{365742}{30,3 + 328,7} = 1018,8; \sigma_6 = \sqrt{1018,8} = 31,9 \text{ МПа (верхня}$$

межа);

$$\sigma_{cp} = \frac{30,3+31,9}{2} = 31,1 \text{ МПа.}$$

Продовжуємо обчислення

$$y(31,1) = \frac{365742}{31,1+328,7} = 1016,5; \sigma_{\epsilon} = \sqrt{1016,5} = 31,9 \text{ МПа (нижня межа);}$$

$$y(31,9) = \frac{365742}{31,9+328,7} = 1014,2; \sigma_{\eta} = \sqrt{1014,2} = 31,8 \text{ МПа (верхня межа);}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{31,9+31,8}{2} = 31,85 \text{ МПа.}$$

Оскільки різниця менша 0,5 МПа, то за розв'язок беремо середнє значення проміжку $\sigma_{-} = \sigma_{cp} = 31,85 \text{ МПа.}$

Стріла прогину:

$$f_{-} = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{-}} = \frac{0,0347 \cdot 300^2}{8 \cdot 31,85} = 12,25 \text{ м.}$$

2.4.3. Режим середньої температури

$$\gamma = \gamma_E = \gamma_1 = 0,0347 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2); t = t_E = 0^{\circ}\text{C;}$$

$$D_E = D_{+} = 365742; B_E = -383,3 - 1,56 \cdot (0 + 5) = -391,1.$$

Рівняння (2.5) приймає вигляд:

$$y = \frac{365742}{\sigma + 391,1}; \sigma_{\eta} = 10 \text{ МПа; } \sigma_{\epsilon} = [\sigma]_E = 87 \text{ МПа.}$$

Обчислюємо середнє напруження проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{10+87}{2} = 48,5 \text{ МПа;}$$

$$y(48,5) = \frac{365742}{48,5+391,1} = 832; \sigma_{\eta} = \sqrt{832} = 28,8 \text{ МПа;}$$

$$y(28,8) = \frac{365742}{28,8 + 391,1} = 871; \sigma_e = \sqrt{871} = 29,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{28,8 + 29,5}{2} = 29,1 \text{ МПа};$$

$$y(29,1) = \frac{365742}{29,1 + 391,1} = 870,4; \sigma_n = \sqrt{870,4} = 29,5 \text{ МПа};$$

$$y(29,5) = \frac{365742}{29,5 + 391,1} = 869,6; \sigma_e = \sqrt{869,6} = 29,6 \text{ МПа}.$$

Оскільки межі останнього проміжку збігаються, то розв'язок рівняння знайдено: $\sigma_E = 29,5 \text{ МПа}$.

Стріла прогину:

$$f_E = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_E} = \frac{0,0347 \cdot 300^2}{8 \cdot 29,5} = 13,23 \text{ м}.$$

2.4.4. Ожеледь без вітру

$$\gamma = \gamma_{o1} = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2); t = t_o = -5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обчислюємо:

$$D_{o1} = \frac{\gamma_3^2 \cdot E \cdot l^2}{24} = \frac{0,156^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 300^2}{24} = 7392060;$$

$$B_{o1} = -383,3 - 1,56 \cdot (-5 + 5) = -383,3.$$

Рівняння (2.5) має вигляд:

$$y = \frac{7392060}{\sigma + 383,3}.$$

Межі

$$\sigma_n = 10 \text{ МПа}; \sigma_e = [\sigma]_o = 130 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{10 + 130}{2} = 70 \text{ МПа};$$

$$y(70) = \frac{7392060}{70 + 383,3} = 16307; \sigma_g = \sqrt{16307} = 127,7 \text{ МПа};$$

$$y(127,7) = \frac{7392060}{127,7 + 383,3} = 14466; \sigma_n = \sqrt{14466} = 120,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{127,7 + 120,3}{2} = 124 \text{ МПа};$$

$$y(124) = \frac{7392060}{124 + 383,3} = 14571,4; \sigma_n = \sqrt{14571,4} = 120,7 \text{ МПа};$$

$$y(120,7) = \frac{7392060}{120,7 + 383,3} = 14667; \sigma_g = \sqrt{14667} = 121,1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{120,7 + 121,1}{2} = 120,9 \text{ МПа}.$$

Тому що $121,1 - 120,7 = 0,4 < 0,5$ МПа, то приймаємо

$$\sigma_{o1} = \sigma_{cp} = 120,9.$$

Стріла прогину:

$$f_{o1} = \frac{\gamma_3 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{o1}} = \frac{0,156 \cdot 300^2}{8 \cdot 121,1} = 14,49 \text{ м}.$$

2.4.5. Ожеледь з вітром

$$\gamma = \gamma_{o1} = \gamma_7 = 0,169 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t = t_o = -5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Цей вихідний режим, для якого напруження в нижній точці проводу дорівнюють напруженням, що допускаються.

Тому допускається $\sigma_o = [\sigma]_o = 130$ МПа.

Стріла прогину

$$f_o = \frac{\gamma_7 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_o} = \frac{0,169 \cdot 300^2}{8 \cdot 130} = 14,6 \text{ м}.$$

Знаходимо напруження в точці підвісу проводу (тип):

$$\sigma_{ТПП} = \sigma_o + \gamma_7 \cdot f_o = 130 + 0,169 \cdot 14,6 = 132,5 \text{ МПа.}$$

Перевищення напружень у точці підвісу порівняно з напруженнями, що допускаються:

$$\frac{\sigma_{ТПП}}{\sigma_o} = \frac{132,5}{130} = 1,017 \text{ чи } 101,7\%,$$

допустиме (ПУЕ допускають перевищення до 110%).

2.4.6. Максимальний тиск вітру (без ожеледі)

$$\gamma = \gamma_e = \gamma_6 = 0,0666 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2); t = t_o = -5 \text{ }^\circ\text{C}; B_e = B_{o1} = -383,3;$$

$$D_e = \frac{\gamma_6^2 \cdot E \cdot l^2}{24} = \frac{0,0666^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 300^2}{24} = 1323135;$$

$$y = \frac{1323135}{\sigma + 383,3}.$$

Це режим більш важкий, ніж режим середьорічної температури (навантаження більше: $\gamma_6 > \gamma_1$, а температура нижче:

$t_o = -5 < t_E = 0$), тому приймаємо

$$\sigma_n = \sigma_E \approx 30 \text{ МПа}; \sigma_e = [\sigma]_o = 130 \text{ МПа}; \sigma_{cp} = \frac{30 + 130}{2} = 80 \text{ МПа};$$

$$y(80) = \frac{1323135}{80 + 383,3} = 2996; \sigma_n = \sqrt{2996} = 54,7 \text{ МПа};$$

$$y(54,7) = \frac{1323135}{54,7 + 383,3} = 3029,9; \sigma_e = \sqrt{3029,9} = 55 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{55 + 54,7}{2} = 54,9 \text{ МПа.}$$

Тому що $55 - 54,7 = 0,3 < 0,5$ МПа, то беремо $\sigma_e = \sigma_{cp} = 54,9$.

Стріла прогину:
$$f_6 = \frac{\gamma_6 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_6} = \frac{0,066 \cdot 300^2}{8 \cdot 54,9} = 13,5 \text{ м.}$$

2.4 7. Результати обчислень (дані в табл.2.2)

Таблиця 2.2

| № п/п | Режим | t °С | γ , Н/мм ² ·м | Напруження, МПа | Наруження, що допускаються, МПа | Стріла прогину, м |
|-------|---------------------------|--------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 1. | Вища температура | +40 | $\gamma_1 = 0,0347$ | $\sigma_+ = 27,6$ | $[\sigma]_E = 87$ | 14,1 |
| 2 | Нижча температура | -40 | $\gamma_1 = 0,0347$ | $\sigma_- = 31,85$ | $[\sigma]_- = 130$ | 12,25 |
| 3 | Середньорічна температура | 0 | $\gamma_1 = 0,0347$ | $\sigma_E = 29,5$ | $[\sigma]_E = 87$ | 13,23 |
| 4 | Ожеледь без вітру | -5 | $\gamma_3 = 0,156$ | $\sigma_{o1} = 120,9$ | $[\sigma]_o = 130$ | 14,5 |
| 5 | Ожеледь із вітром | -5 | $\gamma_7 = 0,169$ | $\sigma_{ТПП} = 132,5$ | $[\sigma]_o = 130$ | 14,6 |
| 6 | Максимальний тиск вітру | -5 | $\gamma_6 = 0,066$ | $\sigma_6 = 54,9$ | $[\sigma]_o = 130$ | 13,5 |

З табл. 2.2 видно, що розрахункові напруження у всіх розглянутих режимах не перевищують допустимих. Виняток має місце тільки при ожеледі з вітром (найбільше навантаження $\gamma_{\max} = \gamma_7$). Однак у цьому режимі розрахункові напруження в точках підвісу проводу $\sigma_{ТПП} = 132,5$ МПа складають 101,7% від допустимих

напружень $[\sigma]_o = 130$ МПа. Це допустимо (ПУЕ допускають для сталелюмінієвих проводів перевищення до 110%).

Стріли прогину проводу й троса визначають для знаходження відстаней між проводами і тросом і між проводами й найближчими спорудами. Ці відстані перевіряють на забезпечення їхньої електробезпечності.

3. РОЗРАХУНОК ГРОЗОЗАХИСНОГО ТРОСА

3.1. Фізико-механічні характеристики громозахисного троса

Для напруги $U = 150$ кВ (дод. 6) беремо канат (трос) 9,1-Г-1-С-Н-1470 ГОСТ 3063-80, першої марки з оцинкованого дроту, що не розкручується з межею міцності на розрив 1470 Мпа.

Площа перерізу $F = 48,64$ мм².

Діаметр $d = 9,1$ мм.

Маса 1 м проводу 0,4175 кг/м.

Приведене навантаження від власної ваги $\gamma_1 = 0,08$ Н/(м·мм²).

Модуль пружності проводу $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}$ (град⁻¹).

Напруження, що допускаються:

- при найбільшому навантаженні і при нижчій температурі $[\sigma]_o = [\sigma]_- = 310$ МПа;
- при середньорічній температурі $[\sigma]_E = 260$ МПа.

3.2. Розрахунок приведених навантажень на провід

3.2.1. Приведене навантаження від власної ваги проводу (дод. 6)

$$\gamma_1 = 0,08 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}.$$

3.2.2. Приведене навантаження від ожеледі

$$\gamma_2 = \frac{2,83 \cdot b \cdot (d + b) \cdot 10^{-2}}{F} = \frac{2,83 \cdot 20 \cdot (9,1 + 20) \cdot 10^{-2}}{48,64} = 0,339 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)},$$

де $b = 20$ мм – товщина стінки ожеледі (дод. 3) для IV району;

$d = 9,1$ мм – діаметр проводу;

$F = 48,64$ мм² – площа перерізу проводу.

3.2.3. Приведене навантаження проводу, покритого ожеледдю

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 = 0,08 + 0,339 = 0,419 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)}.$$

3.2.4. Приведене вітрове навантаження на провід без ожеледі (дод. 4)

$$\gamma_4 = \frac{\alpha_v \cdot k_e \cdot c_x \cdot q \cdot d \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{0,73 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 650 \cdot 9,1 \cdot 10^{-3}}{48,64} = 0,107 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2\text{)},$$

де $q = 650$ Н/м² – максимальний нормативний швидкісний напір вітру (дод.4) для IV району;

$\alpha_v = 0,73$ – коефіцієнт нерівномірності тиску вітру;

$k_e = 1$ – коефіцієнт впливу довжини прольоту $l = 300$ м;

$c_x = 1,2$ – коефіцієнт лобового опору для $d = 9,1$ мм.

3.2.5. Приведене вітрове навантаження на провід, покритий ожеледдю (дод. 4)

$$\gamma_5 = \frac{\alpha_v \cdot k_e \cdot c_x \cdot q_0 \cdot (d + 2b) \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 163 \cdot (9,1 + 2 \cdot 20) \cdot 10^{-3}}{48,64} =$$
$$= 0,161 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2),$$

де $q_0 = 0,25 \cdot q = 0,25 \cdot 650 = 163 \text{ Н/м}^2$ – вітрове навантаження при ожеледі – приймати не менш 140 Н/м^2 у районах з товщиною стінки ожеледі $b \geq 15$ мм, приймаємо $q_0 = 163 \text{ Н/м}^2$, тому що $q_0 = 163 > 140 \text{ Н/м}^2$ і $b = 20$ мм;

$$\alpha_v = 1 \text{ при } q_0 = 163 \text{ Н/м}^2;$$

$$k_e = 1 \text{ при } l = 300 \text{ м};$$

$c_x = 1,2$ – для проводів, покритих ожеледдю;

$d = 9,1$ мм – діаметр проводу;

$b = 20$ мм – товщина стінки ожеледі (дод. 3).

3.2.6. Приведене навантаження від ваги троса і вітрового навантаження на трос без ожеледі

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2} = \sqrt{0,08^2 + 0,107^2} = 0,134 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2).$$

3.2.7. Приведене навантаження від ваги троса, покритого ожеледдю, і вітрового навантаження на трос, покритий ожеледдю

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} = \sqrt{0,419^2 + 0,161^2} = 0,449 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2).$$

3.2.8. Результати розрахунків приведених навантажень на провід (табл. 3.1)

Таблиця 3.1

| № п/п | Приведене навантаження | Позначення | t °С | Навантаження, Н/(м·мм ²) |
|-------|---|------------|--------|--------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Власна вага троса | γ_1 | - | 0,08 |
| 2 | Власна вага ожеледі | γ_2 | -5 | 0,339 |
| 3 | Вага троса з ожеледдю | γ_3 | -5 | 0,419 |
| 4 | Вітрове навантаження на трос | γ_4 | - | 0,107 |
| 5 | Вітрове навантаження на трос, покритий ожеледдю | γ_5 | -5 | 0,161 |
| 6 | Вага троса і вітрове навантаження | γ_6 | - | 0,134 |
| 7 | Вага троса з ожеледдю і вітрове навантаження | γ_7 | -5 | 0,449 |

3.3. Критичні прольоти троса. Вибір вихідного режиму

Дані для розрахунку (дод. 6):

- модуль пружності троса $E = 2 \cdot 10^5$ МПа;

- температурний коефіцієнт лінійного розширення

$$\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ град.}^{-1};$$

напруження допустимі:

- при найбільшому навантаженні і при нижчій температурі

$$[\sigma]_o = [\sigma]_- = 310 \text{ МПа};$$

- при середньорічній температурі $[\sigma]_E = 260$ МПа;

температура повітря:

- нижча $t_- = -40$ °С;

- при ожеледі $t_0 = -5^{\circ}\text{C}$;

- середньорічна $t_E = 0^{\circ}\text{C}$.

Приведені навантаження:

$$\gamma_1 = 0,08 \text{ Н}/(\text{м}\cdot\text{мм}^2); \quad \gamma_{\max} = \gamma_7 = 0,449 \text{ Н}/(\text{м}\cdot\text{мм}^2).$$

Знаходимо критичні прольоти (див. п. 2.3):

$$\begin{aligned} \ell_{1k} &= \frac{1}{\gamma_1} \sqrt{\frac{24 \left[\frac{|\sigma|_- - |\sigma|_E}{E} + \alpha_t (t_- - t_E) \right]}{\frac{1}{[\sigma]_-^2} - \frac{1}{[\sigma]_E^2}}} = \\ &= \frac{1}{0,08} \sqrt{\frac{24 \left[\frac{310 - 260}{2 \cdot 10^5} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot (-40 - 0) \right]}{\frac{1}{310^2} - \frac{1}{260^2}}} = 443 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\ell_{2k} = [\sigma]_o \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha_t (t_0 - t_-)}{\gamma_{\max}^2 - \gamma_1^2}} = 310 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-40))}{0,449^2 - 0,08^2}} = 70,5 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} \ell_{3k} &= \sqrt{\frac{24 \left[\frac{|\sigma|_o - |\sigma|_E}{E} + \alpha_t (t_0 - t_E) \right]}{\frac{\gamma_{\max}^2}{[\sigma]_-^2} - \frac{\gamma_1^2}{[\sigma]_E^2}}} = \\ &= \sqrt{\frac{24 \left[\frac{310 - 260}{2 \cdot 10^5} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - 0) \right]}{\frac{0,449^2}{310^2} - \frac{0,08^2}{260^2}}} = 47,7 \text{ м}. \end{aligned}$$

Співвідношення між критичними прольотами

$$\ell_{1k} = 443 > \ell_{2k} = 70,5 > \ell_{3k} = 47,7 \text{ м та } l = 300 > \ell_{2k}.$$

Відповідно до додатку 5 для заданого прольоту $l = 300$ м (п.

1) вихідним режимом буде режим ожеледі з вітром, для якого:

$$[\sigma]_0 = 310 \text{ МПа}; \gamma_o = 0,449 \text{ Н/(м·мм}^2\text{)}; t_0 = -5^0\text{С.}$$

3.4. Напруження в матеріалі троса і стріла прогину

Напруження визначаємо за допомогою рівняння стану троса (див. п. 2.4) графічним методом. Графік будуємо на міліметрівці.

Записуємо використовувані рішення:

$$Y_1 = \sigma^2,$$

$$Y_{2n} = \frac{D}{\sigma - B},$$

де

$$B = \sigma_{BP} - \frac{\gamma_{BP}^2 E l^2}{24 \sigma_{BP}^2} - \alpha_t E \cdot (t - t_{BP}),$$

$$D = \frac{\gamma^2 E l^2}{24},$$

n – порядковий номер режиму.

Для випадку, що розраховується: прольот $l = 300$ м; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$; вихідним є режим ожеледі з вітром.

Тому: $\sigma_{BP} = [\sigma]_o = 310$ МПа; $\gamma_{BP} = \gamma_7 = 0,449$ Н/(м·мм 2);

$t_{BP} = t_o = -5^0\text{С}$;

$$B = 310 - \frac{0,449^2 \cdot 2 \cdot 10^2 \cdot 300^2}{24 \cdot 310^2} - 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (t - (-5))$$

або

$$B = -1263,37 - 2,4 \cdot (t + 5).$$

Знаходимо напруження і стріли прогину проводу в основних режимах.

Обчислюємо функцію (2.8) $Y_1 = \sigma^2$ (парабола) при $0 \leq \sigma \leq 310$ МПа (табл. 3.2, 3.3, 3.4).

3.4.1. Режим вищої температур

$$\gamma = \gamma_1 = 0,08 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2; t = +40^\circ\text{C}; n = 1;$$

$$D_+ = 0,08^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{300^2}{24} = 4,8 \cdot 10^6;$$

$$B_+ = -1263,37 - 2,4 \cdot (40 + 5) = -1371,37.$$

Будуємо графіки (рис. 3.1) функцій $Y_1 = \sigma^2$ і

$$Y_{21} = \frac{4,8 \cdot 10^6}{\sigma + 1371,37}.$$

Дані розрахунку графіків зводимо у табл. 3.2.

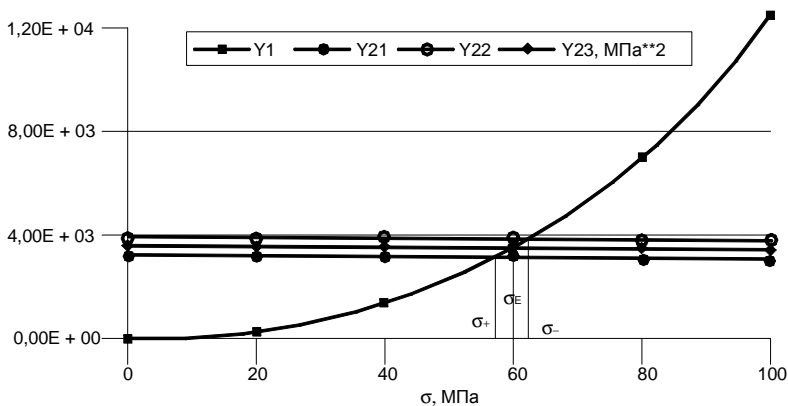


Рис. 3.1

Таблиця 3.2

| σ , МПа | Y 1 | Y 21 | Y 22 | Y 23 |
|----------------|------------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,00E+00 | 3,50E+03 | 4,07E+03 | 3,76E+03 |
| 10 | 1,00E+02 | 3,47E+03 | 4,04E+03 | 3,73E+03 |
| 20 | 4,00E+02 | 3,45E+03 | 4,00E+03 | 3,71E+03 |
| 30 | 9,00E+02 | 3,43E+03 | 3,97E+03 | 3,68E+03 |
| 40 | 1,60E + 03 | 3,40E+03 | 3,94E+03 | 3,65E+03 |
| 50 | 2,50E+03 | 3,38E+03 | 3,90E+03 | 3,62E+03 |
| 60 | 3,60E+03 | 3,35E+03 | 3,87E+03 | 3,59E+03 |
| 70 | 4,90E+03 | 3,33E+03 | 3,84E+03 | 3,57E+03 |
| 80 | 6,40E+03 | 3,31E+03 | 3,81E+03 | 3,54E+03 |
| 90 | 8,10E+03 | 3,28E+03 | 3,78E+03 | 3,52E+03 |
| 100 | 1,00E+04 | 3,26E+03 | 3,75E+03 | 3,49E+03 |

За точкою перетину графіків знаходимо величину напруження

$$\sigma_+ = 58 \text{ МПа.}$$

Стріла прогину

$$f_+ = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_+} = \frac{0,08 \cdot 300^2}{8 \cdot 58} = 15,52 \text{ м.}$$

3.4.2. Режим нижчої температури

$$\gamma = \gamma_- = \gamma_1 = 0,08 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2; t = t_- = -40^\circ\text{C}; n = 2;$$

$$D_- = D_+ = 4,8 \cdot 10^6; B_- = -1263,37 - 2,4 \cdot (-40 + 5) = -1179,37.$$

Будуємо графіки (рис. 3.1) функції

$$Y_{22} = \frac{4,8 \cdot 10^6}{\sigma + 1179,37}.$$

Дані розрахунку графіків зводимо у табл. 3.3.

Таблица 3.3

| σ , МПа | Y1 | Y24 |
|----------------|----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 |
| 0 | 0,00E+00 | 1,04E+05 |
| 10 | 1,00E+02 | 1,03E+05 |
| 20 | 4,00E+02 | 1,03E+05 |
| 30 | 9,00E+02 | 1,02E+05 |
| 40 | 1,60E+03 | 1,01 E+05 |
| 50 | 2,50E+03 | 1,00E+05 |
| 60 | 3,60E+03 | 9,95E+04 |
| 70 | 4,90E+03 | 9,88E+04 |
| 80 | 6,40E+03 | 9,80E+04 |
| 90 | 8,10E+03 | 9,73E+04 |
| 100 | 1,00E+04 | 9,66E+04 |
| 110 | 1,21E+04 | 9,59E+04 |
| 120 | 1,44E+04 | 9,52E+04 |
| 130 | 1,69E+04 | 9,45E+04 |
| 140 | 1,96E+04 | 9,38E+04 |
| 150 | 2,25E+04 | 9,32E+04 |
| 160 | 2,56E+04 | 9,25E+04 |
| 170 | 2,89E+04 | 9,19E+04 |
| 180 | 3,24E+04 | 9,12E+04 |
| 190 | 3,61E+04 | 9,06E+04 |
| 200 | 4,00E+04 | 9,00E+04 |
| 210 | 4,41E+04 | 8,94E+04 |
| 220 | 4,84E+04 | 8,88E+04 |

Продовження таблиці 3.3

| 1 | 2 | 3 |
|-----|----------|----------|
| 230 | 5,29E+04 | 8,82E+04 |
| 240 | 5,76E+04 | 8,76E+04 |
| 250 | 6,25E+04 | 8,70E+04 |
| 260 | 6,76E+04 | 8,64E+04 |
| 270 | 7,29E+04 | 8,59E+04 |
| 280 | 7,84E+04 | 8,53E+04 |
| 290 | 8,41E+04 | 8,48E+04 |
| 300 | 9,00E+04 | 8,42E+04 |
| 310 | 9,61E+04 | 8,37E+04 |
| 320 | 1,02E+05 | 8,32E+04 |
| 330 | 1,09E+05 | 8,26E+04 |
| 340 | 1,16E+05 | 8,21E+04 |

Визначаємо величину напруженню за точкою перетинання графіків $Y_1(\sigma)$ і $Y_{22}(\sigma)$:

$$\sigma_- = 62,2 \text{ МПа.}$$

Стріла прогину

$$f_- = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_-} = \frac{0,08 \cdot 300^2}{8 \cdot 62,2} = 14,47 \text{ м.}$$

3.4.3. Режим середньорічної температури

$$\gamma = \gamma_E = \gamma_1 = 0,08 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2; t = t_E = 0^0\text{C}; n = 3;$$

$$D_E = D_+ = 4,8 \cdot 10^6; B_E = -1263,37 - 2,4 \cdot (0 + 5) = -1275,37.$$

Розрахуємо (табл. 3.2) і будемо (рис. 3.1) функцію

$$Y_{23} = \frac{4,8 \cdot 10^6}{\sigma + 1275,37}.$$

Величину напруження визначаємо за точкою перетину графіків $Y_1(\sigma)$ і $Y_{23}(\sigma)$: $\sigma_E = 60$ МПа.

Стріла прогину:

$$f_E = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_E} = \frac{0,08 \cdot 300^2}{8 \cdot 60} = 15 \text{ м.}$$

3.4.4. Ожеледь без вітру

$$\gamma = \gamma_{o1} = \gamma_3 = 0,419 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2); t = t_o = -5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$D_{o1} = \frac{\gamma_3^2 \cdot E \cdot l^2}{24} = 0,419^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{300^2}{24} = 131670750;$$

$$B_{o1} = -1263,37 - 2,4 \cdot (-5 + 5) = -1263,37.$$

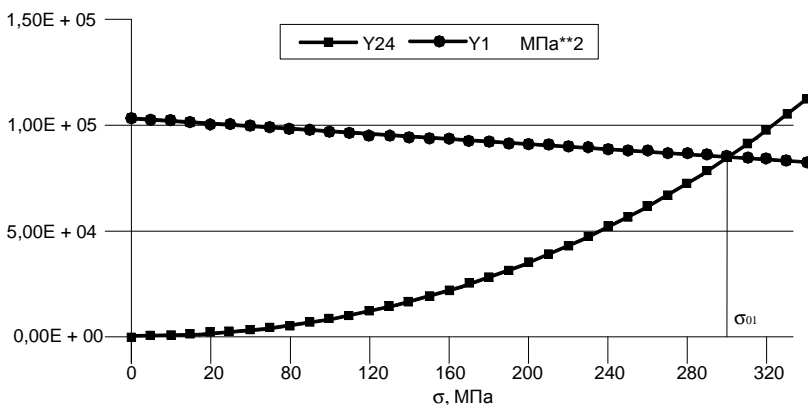


Рис. 3.2

Розраховуємо (табл. 3.3) і будуємо графіки (рис. 3.2) функцію

$$Y_1 = \sigma^2 \text{ і}$$

$$Y_{24} = \frac{131670750}{\sigma + 1263,37}.$$

У точці перетину графіків $Y_1 = (\sigma)$ і $Y_{24}(\sigma)$ знаходимо

$$\sigma_{o1} = 291,2 \text{ МПа.}$$

Стріла прогину:

$$f_{o1} = \frac{\gamma_3 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{o1}} = \frac{0,419 \cdot 300^2}{8 \cdot 291,2} = 16,2 \text{ м.}$$

3.4.5. Ожеледь з вітром

$$\gamma = \gamma_o = \gamma_7 = 0,449 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t = t_o = -5 \text{ }^0\text{С.}$$

Це вихідний режим, для якого напруження в нижній точці проводу дорівнюють напруженням, що допускаються, тому

$$\sigma_o = [\sigma]_o = 310 \text{ МПа.}$$

Стріла прогину:

$$f_o = \frac{\gamma_7 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_o} = \frac{0,449 \cdot 300^2}{8 \cdot 310} = 16,3 \text{ м.}$$

Знаходимо напруження в точці підвісу проводу (тип):

$$\sigma_{ТПШ} = \sigma_o + \gamma_7 \cdot f_o = 310 + 0,449 \cdot 16,3 = 317,3 \text{ МПа.}$$

Перевищення напружень у точці підвісу порівняно з напруженнями, що допускаються:

$$\frac{\sigma_{ТПШ}}{\sigma_o} = \frac{317,3}{310} = 1,024 \text{ чи } 102,4\%,$$

що є допустимим (ПУЕ допускають перевищення для грозозахисних тросів до 105%).

3.4.6. Максимальний тиск вітру (без ожеледі)

$$\gamma = \gamma_e = \gamma_6 = 0,134 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t = t_B = t_o = -5^0\text{C}; n = 5;$$

$$B_e = B_{I1} = -1263,37;$$

$$D_e = \frac{\gamma_6^2 \cdot E \cdot l^2}{24} = \frac{0,134^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 300^2}{24} = 13467000.$$

Розраховуємо (табл. 3.4) і будуємо графіки (рис. 3.3) функцій

$$Y_1 = \sigma^2$$

$$Y_{25} = \frac{13467000}{\sigma + 1263,37}.$$

У точці перетину графіків отримуємо $\sigma_e = 99,4$ МПа.

Стріла прогину:

$$f_e = \frac{\gamma_6 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_e} = \frac{0,134 \cdot 300^2}{8 \cdot 99,4} = 15,2 \text{ м.}$$

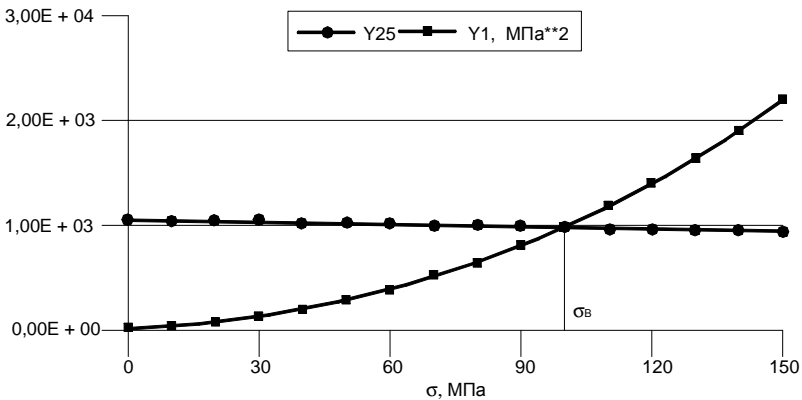


Рис. 3.3

Таблиця 3.4

| σ , МПа | γ_1 | γ_2 |
|----------------|------------|------------|
| 0 | 0,00E+00 | 1,07E+04 |
| 10 | 1,00E+02 | 1,06E+04 |
| 20 | 4,00E+02 | 1,05E+04 |
| 30 | 9,00E+02 | 1,04E+04 |
| 40 | 1,60E+03 | 1,03 E+04 |
| 50 | 2,50E+03 | 1,03E+04 |
| 60 | 3,60E+03 | 1,02E+04 |
| 70 | 4,90E+03 | 1,01 E+04 |
| 80 | 6,40E+03 | 1,00E+04 |
| 90 | 8,10E+03 | 9,95E+03 |
| 100 | 1,00E+04 | 9,88E+03 |
| 110 | 1,21E+04 | 9,81E+03 |
| 120 | 1,44E+04 | 9,73E+03 |
| 130 | 1,69E+04 | 9,67E+03 |
| 140 | 1,96E+04 | 9,60E+03 |
| 150 | 2,25E+04 | 9,53E+03 |

3.4 7. Результати обчислень (табл. 3.5)

Як бачимо, у всіх режимах розрахунків напруження не перевищують напружень, що допускаються. Тільки при ожеледі з вітром (найбільше навантаження $\gamma_{\max} = \gamma_7$) розрахунків напруження $\sigma_{\text{III}} = 317,3$ МПа у точках підвісу грозозахисного троса перевищують напруження, що допускаються $[\sigma]_o = 310$ МПа. Перевищення

складає 102,4%, що допустиме (ПУЕ допускають перевищення для тросів до 105%).

Таблиця 3.5

| № п/п | Режим | t °С | γ , Н/мм ² ·м | Напруження, МПа | Наруження, що допускаються, МПа | Стріла прогину, м |
|-------|---------------------------|--------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 1. | Вища температура | +40 | $\gamma_1 = 0,08$ | $\sigma_+ = 58,0$ | $[\sigma]_E = 260$ | 15,52 |
| 2 | Нижча температура | -40 | $\gamma_1 = 0,08$ | $\sigma_- = 62,2$ | $[\sigma]_- = 310$ | 14,47 |
| 3 | Середньорічна температура | 0 | $\gamma_1 = 0,08$ | $\sigma_E = 60$ | $[\sigma]_E = 260$ | 15,0 |
| 4 | Ожедець без вітру | -3 | $\gamma_3 = 0,419$ | $\sigma_{o1} = 291$ | $[\sigma]_o = 310$ | 16,2 |
| 5 | Ожедець із вітром | -5 | $\gamma_7 = 0,449$ | $\sigma_{III} = 317,3$ | $[\sigma]_o = 310$ | 16,3 |
| 6 | Максимальний тиск вітру | -5 | $\gamma_6 = 0,134$ | $\sigma_6 = 99,4$ | $[\sigma]_o = 260$ | 15,2 |

4. ВИБІР ГІРЛЯНДИ ІЗОЛЯТОРІВ

Відповідно до рекомендацій дод. 7 для напруги 150 кВ приймаємо ізолятори типу ПС 16-Б у кількості 8шт.

Електромеханічне руйнівне навантаження $R \geq 16 \cdot 10^4$ Н.

Довжина гірлянди 1,65 м.

Вага гірлянди ізоляторів $G_{із} = 540$ Н.

4.1. Перевірка міцності ізоляторів

4.1.1. Перевірка міцності ізоляторів у нормальному режимі при ожеледі з вітром

Знаходимо розрахункові навантаження на ізолятори в нормальному режимі (ожеледь з вітром):

вагове навантаження

$$G = (\gamma_1 \cdot n_n + \gamma_2 \cdot n_o) \cdot F \cdot l + G_{iz} \cdot n_{iz} = \\ = (0,0347 \cdot 1,1 + 0,121 \cdot 2) \cdot 173,2 \cdot 300 + 540 \cdot 1,1 = 15152 \text{ Н};$$

вітрове навантаження

$$P = \gamma_5 \cdot n_g \cdot F \cdot l = 0,0645 \cdot 1,4 \cdot 173,2 \cdot 300 = 4692 \text{ Н},$$

тут $\gamma_1 = 0,0347$, Н/мм²·м; $\gamma_2 = 0,121$, Н/мм²·м;

$\gamma_5 = 0,0645$, Н/мм²·м – приведені навантаження (п. 2.2.8);

$F = 173,2$ мм² площа перерізу проводу (п. 2.1);

$l = 300$ м – прольот (п. 1);

$n_n = 1,1$; $n_o = 2,0$; $n_{iz} = 1,1$; $n_d = 1,4$ – коефіцієнти

перевантаження відповідно для навантажень від ваги проводу, ваги ожеледі на проводах, ваги ізоляторів і вітрового навантаження на проводи (ПУЕ).

Обчислюємо рівнодійну навантаження

$$G_{\max} = \sqrt{G^2 + P^2} = \sqrt{15152^2 + 4692^2} = 15862 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт запасу міцності ізоляторів у нормальному режимі

$$n_n = \frac{R}{G_{\max}} = \frac{16 \cdot 10^4}{15862} = 10,1 > [n]_n = 2,7,$$

де $[n]_n = 2,7$ – коефіцієнт запасу міцності ізоляторів у нормальному режимі (ПУЕ), що допускається.

Умова міцності виконується.

4.1.2. Перевірка міцності ізоляторів при середньорічній температурі, без ожеледі й вітру

Навантаження на ізолятори при середньорічній температурі, відсутності ожеледі й вітру:

$$G_E = \gamma_1 \cdot n_n \cdot F \cdot l + G_{iz} \cdot n_{iz} = \\ = 0,0347 \cdot 1,1 \cdot 173,2 \cdot 300 + 540 \cdot 1,1 = 2577 \text{ Н};$$

де $\gamma_1 = 0,0347$, Н/мм²·м – приведені навантаження (п. 2.2.8);

$F = 173,2$ мм² площа перерізу проводу (п. 2.1);

$l = 300$ м – прольот (п. 1);

$n_n = 1,1$; $n_{iz} = 1,1$ – коефіцієнти перевантаження відповідно для

навантажень від ваги проводу і ваги ізоляторів (ПУЕ).

Коефіцієнт запасу міцності

$$n_E = \frac{R}{G_E} = \frac{16 \cdot 10^4}{2577} = 62 > [n]_E = 5,$$

де $[n]_E = 5$ – коефіцієнт запасу міцності ізоляторів при середньорічній температурі (ПУЕ), що допускається.

Умова міцності виконується.

4.1.3. Перевірка міцності ізоляторів в аварійному режимі (обрив проводу)

Знаходимо навантаження на ізолятори при обриві проводу:

$$T_{обр} = T_{\max} \cdot K_{обр} + G_{iz} \cdot n_{iz} = \\ = 22516 \cdot 0,3 + 540 \cdot 1,1 = 8024 \text{ Н}.$$

де $T_{\max} = \sigma_{\text{ТІІІ}} \cdot F \cdot n_n = 132,5 \cdot 173,2 \cdot 1,1 = 24767$ Н – найбільше тя-
жіння проводу при ожеледі з вітром;

$$\sigma_{\text{ТІІІ}} = 132,5 \text{ МПа} - \text{відповідне напруження (п. 2.4.7);}$$

для залізобетонних опор (ПУЕ):

$$K_{\text{обр}} = 0,3 \text{ при } F \leq 185 \text{ мм}^2;$$

$$K_{\text{обр}} = 0,25 \text{ при } F \geq 205 \text{ мм}^2;$$

$n_n = 1,1$; $n_{iz} = 1,1$ – коефіцієнти перевантаження відповідно для
навантажень від ваги проводу й ваги ізоляторів (ПУЕ).

Коефіцієнт запасу міцності ізоляторів в аварійному режимі

$$n_A = \frac{R}{T_{\text{обр}}} = \frac{16 \cdot 10^4}{8024} = 19,9 > [n]_A = 1,8,$$

де $[n]_A = 1,8$ – коефіцієнт запасу міцності ізоляторів в аварійному
режимі (ПУЕ), що допускається.

Умова міцності виконується.

4.2. Висновки

Умови міцності ізоляторів для розглянутих режимів
забезпечуються коефіцієнтами запасу міцності :

1. Ожеледь з вітром $[n]_n = 10,1 > [n]_n = 2,7$;

2. Режим середньорічної температури $n_E = 62 > [n]_E = 5$;

3. Аварійний режим (обрив одного проводу)

$$n_A = 19,9 > [n]_A = 1,8.$$

5. ВИБІР ОПОРИ

5.1. Попередній вибір опори

Опори ПЛ електропередач поділяються на два види : анкерні опори, що повністю сприймають тяжіння проводів і тросів у суміжних з опорою прольотах, і проміжні опори, що не сприймають тяжіння проводів чи сприймають його частково. На базі анкерних опор можуть виконуватися кінцеві й транспозиційні опори. Проміжні й анкерні опори можуть бути прямими й кутовими.

Згідно з ПУЕ опори розраховують на нормальні й аварійні режими.

Нормальні режими:

- проводи і троси не обірвані й вільні від ожеледі, швидкісний напір вітру максимальний, $t = -5^{\circ}\text{C}$;

- проводи і троси покриті ожеледдю, швидкісний напір вітру $q_0 = 0,25q$, $t = -5^{\circ}\text{C}$.

Аварійні режими : обірвано провід однієї фази, троси не обірвані, обірвано один трос, проводи не обірвані.

При цьому навантаження від проводів і тросів приймаються для режиму середньорічної температури (режим без ожеледі і без вітру).

У цих вказівках розглянуто тільки розрахунок у нормальному режимі. Приймається режим при якому вітрове навантаження найбільше.

Так, якщо $\gamma_5 > \gamma_4$ то $\gamma_{\text{вітру}} = \gamma_5$ і для визначення вагових навантажень беруть $\gamma_{\text{провода}} > \gamma_3$ з (ожеледь з вітром).

Якщо ж $\gamma_4 > \gamma_5$, то $\gamma_{вітру} = \gamma_4$ і $\gamma_{провода} = \gamma_1$ (провід без ожеледі).

У курсовому проекті застосовують уніфіковані проміжні вільно стоячі залізобетонні опори. У дод. 8 і 9 наведені дані по таких опорах.

Відповідно до вихідних даних проекту:

- напруга мережі $U = 150$ кВ, провід АС 150/24;
- район по ожеледі IV;
- район по напору вітру IV.

Попередньо приймаємо опору ПБ150-1.

Схему опори і діючі на неї навантаження показано на рис. 5.1.

Обчислюємо навантаження.

Вітрове навантаження на проводи

$$P_1 = P_2 = P_3 = \gamma_{вітру} \cdot F_{np} \cdot l = \\ = 0,0645 \cdot 173,3 \cdot 300 = 3351 \text{ Н,}$$

де $\gamma_{вітру} = (\gamma_4 \text{ чи } \gamma_5)_{\max} = \gamma_5 = 0,0645 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2$ – максимальне вітрове навантаження на провід (п. 2.2.8);

$$F_{np} = 173,2 \text{ мм}^2 \text{ – площа перерізу проводу (п.2.1);}$$

$$l = 300 \text{ м – довжина прольоту (п. 1).}$$

Навантаження від ваги проводу з ожеледдю й ваги гірлянди ізоляторів:

$$G_1 = G_2 = G_3 = \gamma_{np} \cdot F_{np} \cdot l + G_{із} = \\ = 0,156 \cdot 173,2 \cdot 300 + 540 = 8646 \text{ Н,}$$

тут $\gamma_{np} = (\gamma_1 \text{ чи } \gamma_3) = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2$ – навантаження від власної ваги проводу без ожеледі чи з ожеледдю (п. 2.2.8);

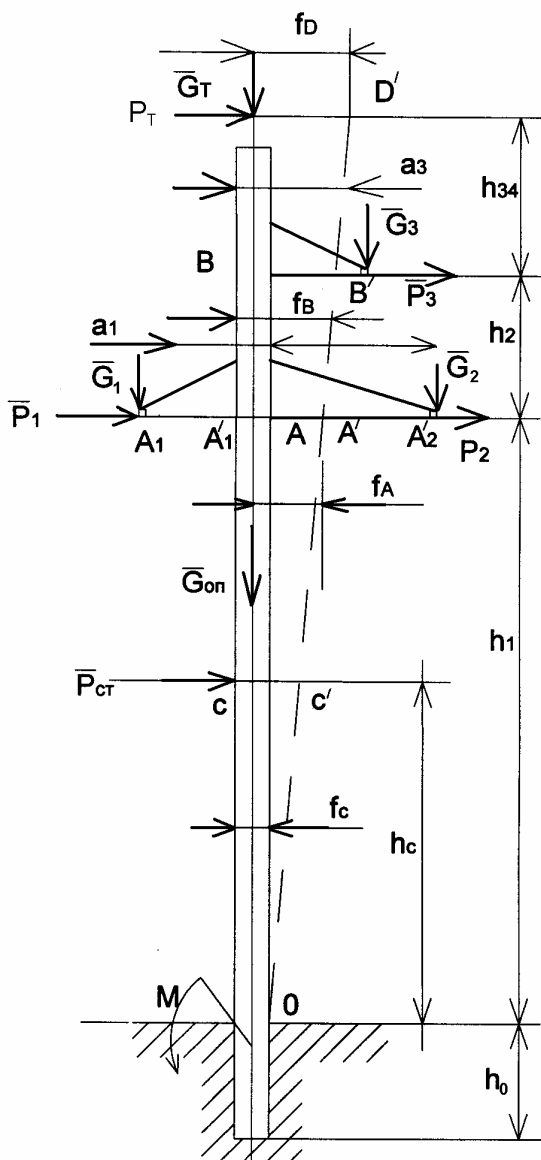


Рис. 5.1

$G_{із} = 540$ Н – вага гірлянди ізоляторів (п. 4.1.1).

Вітрове навантаження на трос:

$$P_T = \gamma_{вітру} \cdot F_T \cdot l = 0,161 \cdot 48,64 \cdot 300 = 2349 \text{ Н,}$$

де $\gamma_{вітру} = (\gamma_4 \text{ чи } \gamma_5) = \gamma_5 = 0,161$ Н/м·мм² – відповідне вітрове навантаження на трос (п.3.2.8);

$F_T = 48,64$ мм² – площа перерізу троса (п. 3.1).

Вагове навантаження від ваги троса

$$G_T = \gamma_T \cdot F_T \cdot l = 0,419 \cdot 48,64 \cdot 300 = 6114 \text{ Н.}$$

Тут $\gamma_T = (\gamma_1 \text{ чи } \gamma_3) = \gamma_3 = 0,419$ Н/м·мм² – відповідне $\gamma_{вітру}$ навантаження від власної ваги проводу без ожеледі чи з ожеледдю (п.3.2.8).

Вітрове навантаження на стоек опори:

$$P_{cm} = p_e \cdot (h_1 + h_2 + h_3) = 39 \cdot (13,5 + 4 + 3) = 800 \text{ Н,}$$

де $p_e = \frac{95 \cdot q}{400} = \frac{95 \cdot 163}{400} = 39$ Н/м – середнє розподілене вітрове навантаження на стоек опори (дод. 10) при діаметрі стояка опори $d_2 = 560$ мм (дод. 9) і вітровому напорі відповідного режиму $q = q_o = 163$ Н/м² (п.2.2.5);

$h_1 = 13,5$ м; $h_2 = 4$ м; $h_3 = 3$ м – розміри стояка опори ПБ150-1 (дод. 9);

Вага опори: $G_{on} = m_{on} \cdot g = 5,2 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 50,1 \cdot 10^3$ Н,

де $m_{on} = 5,2$ т (дод. 9) – маса опори;

$g = 9,8$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Міцність опори перевіряємо відповідно до методики [1,6], порівнюючи згинальний момент від розрахункових навантажень і

граничний момент M_{zp} (дод. 9). Розрахунковий згинальний момент для деформованого стояка опори знаходимо методом послідовних наближень. Обчислюємо згинальний момент M_n в опорному перерізі O для недеформованого стояка (рис. 5.1) з рівняння моментів:

$$\begin{aligned} \sum m_o &= M_n - (P_1 + P_2) \cdot h_1 - P_3 \cdot h_{13} - P_T \cdot h_{14} - P_{cm} \cdot h_c + G_1 \cdot a_1 - G_3 \cdot a_3 - \\ &- G_2 \cdot a_2 = 0; \\ M_n &= (P_1 + P_2) \cdot h_1 + P_3 \cdot h_{12} + P_T \cdot h_{14} + P_{cm} \cdot h_c + G_2 \cdot a_2 = \\ &= (3351 + 3351) \cdot 13,5 + 3351 \cdot 17,5 + 2349 \cdot 21,2 + 800 \cdot 10,25 + \\ &+ 8646 \cdot 4,0 = 251 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = 251 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (5.1)$$

де

$$h_{12} = h_1 + h_2 = 13,5 + 4 = 17,5 \text{ м};$$

$$h_1 = 13,5 \text{ м}; \quad h_2 = 4,0 \text{ м};$$

$$h_{14} = h_1 + h_2 + h_{34} = 13,5 + 4 + 3,7 = 21,2 \text{ м};$$

$$h_{34} = h_3 + h_4 = 3 + 0,7 = 3,7 \text{ м};$$

$$h_c = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} = \frac{13,5 + 4 + 3}{2} = 10,25 \text{ м};$$

$$a_2 = 4,0 \text{ м};$$

$$a_1 = a_3 = 2,5 \text{ м}.$$

Знаходимо перше наближення згинального моменту:

$$M_1 = 1,06 \cdot M_n = 1,06 \cdot 251 = 266 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для опори розрахунковий згинальний момент M_i і граничний момент за міцністю M_{zp} повинні відповідати умові

$$M_{zp} \geq 1,25M_i, \quad (5.2)$$

де $M_{zp} = 326 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (дод. 9);

M_i – відповідне наближення згинального моменту.

Перевіряємо умову (5.2):

$$M_{zp} = 326 \text{ кН}\cdot\text{м} < 1,25 \cdot 266 = 332 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Умова міцності не виконується, тому приймаємо для IV району по ожеледі опору ПБ 220-3, для якої $M_{zp} = 542 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Якщо умова міцності виконується, то переходимо до пункту 5.2.2 і позначаємо його 5.2.

5.2. Розрахунок опори ПБ 220-3

Схему опори подано на рис. 5.1.

Маса опори $m_{on} = 7,2 \text{ т}$ (дод. 8 і 9).

Вага опори $G_{on} = m_{on} \cdot g = 7,2 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 70,6 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Вітрове навантаження на стаяк опори:

$$P_{cm} = p_e \cdot (h_1 + h_2 + h_3) = 51,4 \cdot (17,5 + 5,5 + 2,5) = 1311 \text{ Н},$$

де $p_e = \frac{126 \cdot 163}{400} = 51,4 \text{ Н/м}$ – розподілене вітрове навантаження

на стаяк (дод. 10) при діаметрі його $d_2 = 650 \text{ мм}$ і вітровому напорі:

$$q_o = 163 \text{ Н/м}^2 \text{ (п.2.2.5);}$$

$$h_1 = 17,5 \text{ м}; h_2 = 5,5 \text{ м}; h_3 = 2,5 \text{ м}; h_4 = 0,7; h_o = 3,3 \text{ м};$$

$$a_1 = 2,8 \text{ м}; a_2 = 4,8 \text{ м}; a_3 = 2,8 \text{ м};$$

$$h_c = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} = \frac{25,5}{2} = 12,75 \text{ м};$$

$d_2 = 650 \text{ мм}$ – нижній діаметр стаяка СК-7 (дод. 9).

Навантаження на опору від ваги проводів і тросів і вітрові навантаження на проводи й троси залишаються без змін (рис. 5.1, п. 5.1).

Вагові навантаження: $G_1 = G_2 = G_3 = 8646$ Н, $G_T = 6114$ Н.

Вітрові навантаження: $P_1 = P_2 = P_3 = 3351$ Н, $P_T = 2349$ Н.

5.2.1. Перше наближення величини згинального моменту

Знаходимо згинальний момент в опорному перерізі недеформованого стояка (див. п. 5.1) з (5.1):

$$\begin{aligned} M_n &= (P_1 + P_2) \cdot h_1 + P_3 \cdot h_{12} + P_T \cdot h_{14} + P_{cm} \cdot h_c + G_2 \cdot a_2 = \\ &= (3351 + 3351) \cdot 17,5 + 3351 \cdot 23 + 2349 \cdot 26,2 + 1311 \cdot 12,75 + \\ &\quad + 8646 \cdot 4,8 = 314,6 \text{ кН}\cdot\text{м}, \end{aligned}$$

де $h_{12} = h_1 + h_2 = 23$ м; $h_{14} = h_{12} + h_3 + h_4 = 26,2$ м.

Визначаємо згинальний момент першого наближення:

$$M_1 = 1,06 \cdot M_n = 1,06 \cdot 314,6 = 333,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Перевіряємо умову міцності (5.2) обраної опори:

$$M_{ep} = 542 \text{ кН}\cdot\text{м} > 1,25 \cdot M_1 = 1,25 \cdot 333,5 = 416,9 \text{ кН}\cdot\text{м} - \text{умова}$$

міцності виконується. Розрахунок опори продовжуємо далі.

5.2.2. Перше наближення значень прогинів

Знаходимо величину рівнодіючої горизонтальних навантажень

$$Q = P_1 + P_2 + P_3 + P_T + P_{cn} = 3 \cdot 3351 + 2349 + 1311 = 13720 \text{ Н} = 13,72 \text{ кН}.$$

Визначаємо висоту H прикладення рівнодіючої горизонтальних навантажень Q .

Перше наближення висоти:

$$H = \frac{M_1}{Q} = \frac{333,5}{13,72} = 24,3 \text{ (м)}.$$

Знаходимо прогини стояка f_i на відмітках траверс А, В, відмітці кріплення троса Д й відмітці С за формулами [1,6]:

$$\text{при } h_i \leq H \quad f_i = h_i^2 \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1,5 - 0,5v_i}{3} + \beta \cdot \frac{h_i + 2h_0}{3}; \quad (5.3)$$

$$\text{при } h_i > H \quad f_i = H^2 \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1,5v_i - 0,5}{3} + \beta \cdot \frac{h_i + 2h_0}{3}, \quad (5.4)$$

де h_i – висота і-го перерізу;

$$\beta = 3 \cdot \frac{Q \cdot (6\alpha + 3) \cdot \mu}{4 \cdot E_o \cdot h_o^2}, \quad (5.5)$$

- кут повороту стояка без ригелів в опорному перерізі „О”

$$\alpha = \frac{H}{h_o} = \frac{24,3}{3,3} = 7,36;$$

$E_o = 40$ МПа – модуль деформації ґрунту (пісок крупний);

$\mu = 5,5$ – коефіцієнт, що визначається за графіком (дод. 11)

залежно від відношення

$$\frac{d_2}{h_o} = \frac{0,65}{3,3} = 0,2,$$

$d_2 = 650$ мм – діаметр стояка);

$$\frac{1}{\rho} = 0,39 \cdot 10^{-2}, \quad 1/\text{м} \text{ – кривизна стояка, що визначається}$$

відповідно до рекомендацій дод. 12 залежно від типу стояка і згинаючого моменту $M_i = M_1 = 333,5$ кН·м;

$$v_i = \frac{h_{\max}}{h_{\min}} \text{ – коефіцієнт пропорційності}; \quad (5.7)$$

h_{\min} і h_{\max} – менша й більша з висот H і h_i ;

$h_i = h_f$ – висота, на якій визначається прогин.

Визначаємо з (5.5) кут повороту стояка в перерізі О:

$$\beta = 3 \cdot 13,72 \cdot 10^3 \cdot (6 \cdot 7,36 + 3) \cdot \frac{5,5}{4 \cdot 40 \cdot (3,3 \cdot 10^3)^2} = 0,0061 \text{ рад.}$$

Обчислюємо прогини в першому наближенні:

У точці С: $h_c = 12,75 \text{ м} < H = 24,3 \text{ м}$;

$$\text{з (5.7)} \quad v_c = \frac{24,3}{12,75} = 1,9 ;$$

з (5.3)

$$f_c = 12,75^2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,5 - 1,9 \cdot 0,5}{3} + 0,0061 \cdot 12,75 + \frac{2 \cdot 3,3}{3} = 0,207 \text{ м.}$$

У точці А: $h_A = h_1 = 17,5 \text{ м} < H = 24,3 \text{ м}$;

$$\text{з (5.7)} \quad v_A = \frac{24,3}{17,5} = 1,4 ;$$

з (5.3)

$$f_A = 17,5^2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,5 - 0,5 \cdot 1,4}{3} + 0,0061 \cdot 17,5 + \frac{2 \cdot 3,3}{3} = 0,439 \text{ м.}$$

У точці В: $h_B = h_{12} = 23 \text{ м} < H = 24,3 \text{ м}$;

$$\text{з (5.7)} \quad v_B = \frac{24,3}{23} = 1,057 ;$$

з (5.3)

$$f_B = 23^2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,5 - 0,5 \cdot 1,057}{3} + 0,0061 \cdot 23 + \frac{2 \cdot 3,3}{3} = 0,82 \text{ м.}$$

У точці Д: $h_D = h_{14} = 26,2 \text{ м} < H = 24,3 \text{ м}$;

$$\text{з (5.7)} \quad v_D = \frac{26,2}{24,3} = 1,078 ;$$

з (5.3)

$$f_D = 24,3^2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,5 - 0,5 \cdot 1,078}{3} + 0,0061 \cdot 26,2 + \frac{2 \cdot 3,3}{3} = 1,03 \text{ м.}$$

5.2.3. Друге наближення значень згинального моменту

Обчислюємо друге наближення згинального моменту в опорному перерізі О з урахуванням прогинів першого наближення (рис. 5.1). При цьому точки прикладення вертикальних навантажень G зміщуються на величину прогину – точка С переходить у положення C^1, A_1 у A_1^1 і т.п.

З рівняння моментів щодо точки О друге наближення згинального моменту визначаємо так:

$$\begin{aligned} M_2 &= M_n + \sum G_i \cdot f_i = M_n \cdot G_{on} \cdot f_c + (G_1 + G_2) \cdot f_A + G_3 \cdot f_B + G_T \cdot f_D = \\ &= 314,6 \cdot 10^3 + 70,6 \cdot 10^3 \cdot 0,207 + 8646 \cdot (2 \cdot 0,439 + 0,82) + 6114 \cdot 1,03 = \\ &= 350190 \text{ Н}\cdot\text{м} = 350,19 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

Знаходимо відносне значення різниці моментів другого й першого наближень:

$$\Delta M_{21} = \frac{M_2 - M_1}{M_2} = \frac{350,19 - 333,5}{350,19} = 0,048 \text{ чи } 4,8\%.$$

Оскільки $\Delta M_{21} = 4,8\% < 8\%$, процес уточнення згинального моменту M припиняється.

Умова міцності опори

$$M_{sp} = 542 \text{ кН}\cdot\text{м} > 1,25 \cdot M_2 = 1,25 \cdot 350,19 = 437,7 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

виконується.

5.3. Висновки

У проекті прийнята уніфікована залізобетонна проміжна опора ПБ 220-3, стояк опори типу СК-7.

Граничний момент у заземленні:

- за міцністю $M_{cp} = 542$ кН·м;

- розрахунковий у нормальному режимі $M_2 = 350,19$ кН·м.

Умова міцності виконується.

Коефіцієнт запасу міцності

$$n = \frac{M_{cp}}{M_2} = \frac{542}{350,19} = 1,55 > [n] = 1,25 .$$

6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ТРАВЕРС

Траверси служать для закріплення за допомогою ізоляторів проводів ПЛ електропередачі й передачі навантажень на опору.

6.1. Розрахунок зусиль в елементах першої траверси

Розглядаємо траверсу з найбільшим вильотом $a_2 = 4,8$ м (дод. 9). Знаходимо розрахункові навантаження на траверсу в нормальному режимі (ожеледь з вітром).

Вагове навантаження

$$G = (\gamma_1 n_n + \gamma_2 n_o) \cdot F \cdot l + G_{i3} \cdot n_{i3} = \\ = (0,0347 \cdot 1,1 + 0,121 \cdot 2) \cdot 173,2 \cdot 300 + 540 \cdot 1,1 = 15152 \text{ Н.}$$

Вітрове навантаження

$$P = \gamma_3 \cdot n_e \cdot F \cdot l = 0,0645 \cdot 1,4 \cdot 173,2 \cdot 300 = 4692 \text{ Н.}$$

Тут $\gamma_1 = 0,0347$ Н/м·мм², $\gamma_2 = 0,121$ Н/м·мм²,

$\gamma_3 = 0,0645$ Н/м·мм² – приведені навантаження (п. 2.2.8);

$F = 173,2$ мм² – площа перерізу проводу (п. 2.1);

$l = 300 \text{ м}$ – прольот (п. 1);

$n_n = 1,1$; $n_o = 2,0$; $n_{i3} = 1,1$; $n_g = 1,4$ – коефіцієнти перевантаження відповідно для навантажень від ваги проводу, ваги ожеледі на проводах, ваги ізоляторів і вітрового навантаження на проводи (ПУЕ).

Розглядаємо рівновагу вузла А. Рівняння рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} &= N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \beta + N_3 \cos \beta + P = 0; \\ \sum F_{ky} &= G - N_1 \sin \alpha = 0; \\ \sum F_{kz} &= -N_2 \sin \beta + N_3 \sin \beta = 0. \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

Визначаємо реакції:

$$N_1 = \frac{G}{\sin \alpha} = \frac{15152}{\sin 18,43^\circ} = 47927 \text{ Н};$$

$$N_2 = N_3 = -\frac{P + N_1 \cos \alpha}{2 \cos \beta} = -\frac{4692 + 47927 \cos 18,43^\circ}{2 \cos 3,2^\circ} = -25120 \text{ Н}.$$

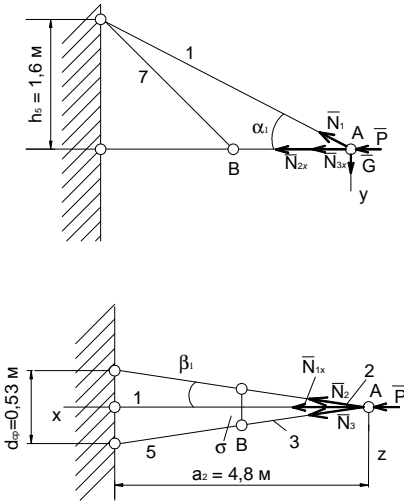


Рис. 6.1

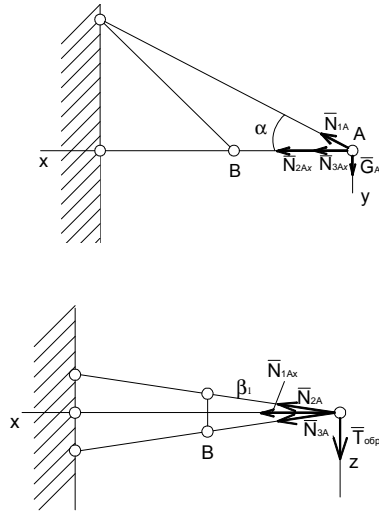
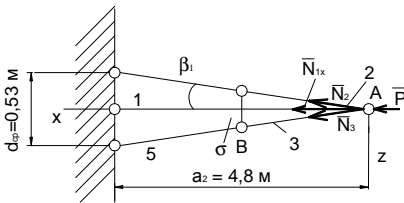


Рис. 6.2



Тут

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_5}{a_2} = \frac{1,6}{4,8} = 0,333; \quad \alpha = 18,43^0;$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d_{cp}}{2a_2} = \frac{0,53}{2 \cdot 4,8} = 0,055; \quad \beta = 3,2^0;$$

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,65 + 0,41}{2} = 0,53 \text{ м};$$

$a_1 = 4,8 \text{ м}; h_3 = 1,6 \text{ м}; d_1 = 0,65 \text{ м}; d_2 = 0,41 \text{ м} - \text{дод. 9.}$

Тобто стержні 2 і 3 стиснуті, а стержень 1 розтягнутий.

В аварійному режимі обірваний один провід і навантаження, відповідно до ПУЕ, розраховуються для режиму середньорічної температури (γ_1, t_E вітер відсутній).

Розрахункове вагове навантаження від проводу:

$$\begin{aligned} G_A &= G_{iz} + \frac{\gamma_1 \cdot F_{np} \cdot l}{2} \cdot n_n = \\ &= \frac{540 + 0,0347 \cdot 173,2 \cdot 300}{2} \cdot 1,1 = 1586 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Навантаження від тяжіння провода, що залишився, при обриві одного проводу:

$$T_{обр} = \sigma_E \cdot F_{np} \cdot K_{обр} \cdot n_n = 29,5 \cdot 173,2 \cdot 0,3 \cdot 1,1 = 1993 \text{ Н.}$$

Тут $\gamma_1 = 0,0347 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$ – приведені навантаження (п. 2.2.8);

$F_{np} = 173,2 \text{ мм}^2$ площа перерізу провода (п. 2.1);

$l = 300 \text{ м}$ – прольот (п. 1);

$\sigma_E = 29,5 \text{ МПа}$ – напруження в проводі (п. 2.4.7);

$K_{обр} = 0,3$ – коефіцієнт (п. 4.1.3);

$G_{iz} = 540 \text{ Н}$ – вага ізоляторів (п. 4);

$n_n = 1,1$; $n_T = 1,3$ – коефіцієнти перевантаження (ПУЕ).

Схема навантаження траверси в аварійному режимі наведена на рис. 6.2.

Рівняння рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} &= N_{1A} \cos \alpha + N_{2A} \cos \beta + N_{3A} \cos \beta = 0; \\ \sum F_{ky} &= G_A - N_{1A} \sin \alpha = 0; \\ \sum F_{kz} &= T_{обп} - N_{2A} \sin \beta + N_{3A} \sin \beta = 0. \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

Вирішуємо рівняння рівноваги:

з другого рівняння знаходимо

$$N_{1A} = \frac{G_A}{\sin \alpha} = \frac{1586}{\sin 18,43^0} = 5017 \text{ Н};$$

з третього

$$N_{2A} = \frac{T_{обп}}{\sin \beta} + N_{3A};$$

з першого

$$N_{3A} = -\frac{N_{1A} \cos \alpha + \frac{T_{обп}}{\operatorname{tg} \beta}}{2 \cos \alpha} = -\frac{5017 \cos 18,43^0 + \frac{1993}{\operatorname{tg} 3,2^0}}{2 \cos 3,2^0} = -20235 \text{ Н};$$

$$N_{2A} = \frac{1993}{\sin 3,2^0} - 20235 = 15468 \text{ Н}.$$

На схемах траверси (рис. 6.1 і 6.2) стержні 4, 5 лежать на одній прямій з відповідними стержнями 2, 3. Розглядаючи, наприклад, рівновагу вузла В, знаходимо, що зусилля у стержнях 4 і 5 дорівнюють зусиллям у відповідних стержнях 2 і 3, а зусилля у стержнях 6 і 7 дорівнюють нулю (нульові стержні).

Результати розрахунків зусиль в елементах першої траверси зводимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

| Режим | N_1, N_{1A}, H | $N_2, N_4, N_{2A}, N_{4A}, H$ | $N_3, N_5, N_{3A}, N_{5A}, H$ |
|------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Нормальний | 47927 | -25120 | -25120 |
| Аварійний | 5017 | 15468/-20235 | - 20235/15468 |

Примітка: Зусилля N_2, N_4 і N_3, N_5 в аварійному режимі дані дробом, де чисельник і знаменник показує зусилля при прямо протилежному напрямку тяжіння проводу $T_{обр}$.

6.2. Розрахунок зусиль в елементах другої й третьої траверс прольотом 2,8 м

Зовнішні сили, що діють на другу траверсу, такі ж, що і на першу.

Нормальний режим (рис 6.3): вагове навантаження $G = 15152$ Н; вітрове навантаження $P = 4692$ Н. Рівняння рівноваги для вузла А другої траверси ідентичні рівнянням (6.1), (6.2),

$$\text{де} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1,2}{2,8} = 0,429; \quad \alpha = 23,2^{\circ};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,53}{2 \cdot 2,8} = 0,0946; \quad \beta = 5,4^{\circ}.$$

Обчислюємо зусилля у стержнях:

$$N_1 = \frac{15152}{\sin 23,2^{\circ}} = 38463 \text{ Н};$$

$$N_2 = N_3 = -\frac{4692 + 38463 \cos 23,2^0}{2 \cos 5,4^0} = -20112 \text{ Н.}$$

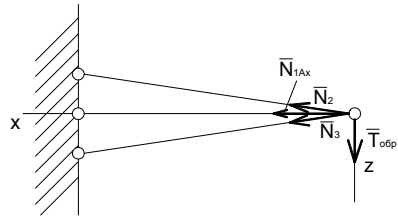
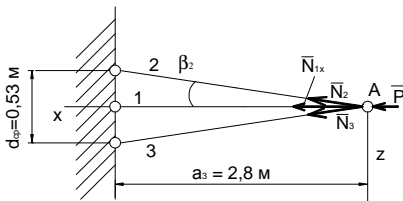
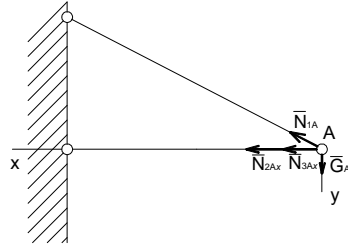
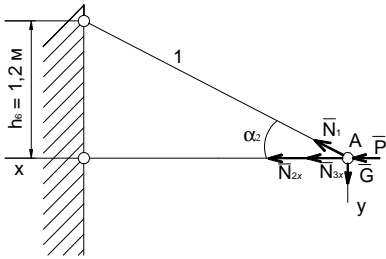


Рис. 6.3

Рис. 6.4

Аварійний режим (рис. 6.4): вагоме навантаження $G_A = 1586 \text{ Н}$, тяжіння проводу, що залишився при обриві, $T_{обр} = 1993 \text{ Н}$.

Розв'язуємо рівняння (6.2):

$$N_{1A} = \frac{1586}{\sin 23,2^0} = 4026 \text{ Н;}$$

$$N_{3A} = \frac{-(4692 \cos 23,2^0 + 1993 / \operatorname{tg} 5,4^0)}{2 \cos 5,4^0} = -12447 \text{ Н;}$$

$$N_{2A} = \frac{1993}{\sin 5,4^0} - 12447 = 8731 \text{ Н.}$$

Друга і третя траверси мають однакові розміри й конструкцію. Тому зусилля в елементах цих траверс однакові.

Результати розрахунків зусиль в елементах другої і третьої траверс зводимо в табл.6.2.

Таблиця 6.2

| Режим | N_1, N_{1A}, H | N_2, N_{2A}, H | N_3, N_{3A}, H |
|------------|------------------|------------------|------------------|
| Нормальний | 38563 | -20112 | -20112 |
| Аварійний | 4026 | 8731 / -12447 | - 12447/8731 |

Зусилля N_2 і N_3 в аварійному режимі дані при прямо протилежному напрямку тяжіння проводу $T_{обр}$.

6.3. Розрахунок перерізів елементів траверс

З метою уніфікації для виготовлення першої і другої траверс застосовують для однотипних елементів однаковий сортамент.

При розрахунку перерізів стержнів траверс використовуємо максимальні за модулем зусилля (табл.6.1; 6.2).

Стержень 1 розтягнутий у всіх режимах, переріз – коло.

Записуємо умову міцності при розтягу й стиску:

$$\frac{|N|}{F} \leq [\sigma], \quad (6.3)$$

де $N = N_1 = 47927$ Н – найбільша поздовжня сила;

$[\sigma] = 120$ МПа – напруга, що допускається, для сталі при розтягу-стиску;

$$F_k = \frac{\pi d_k^2}{4} - \text{площа перерізу у вигляді кола діаметром } d_k.$$

Знаходимо діаметр стержня з (6.3):

$$d_k \geq \sqrt{\frac{47927 \cdot 4}{120\pi}} = 22,5 \text{ мм} \approx 24 \text{ мм}$$

(округляємо у бік збільшення до значень, кратних 2 чи 5).

Стержні 2,4 і 3,5 – рівнополичні кутики.

Площу перерізу кутика F_k знаходимо з умови стійкості:

$$\sigma = \frac{|N|}{\varphi \cdot F_k} \leq [\sigma], \quad (6.4)$$

де $N = |N_2| = 25120 \text{ Н}$ – найбільша поздовжня сила (табл. 6.1);

φ – коефіцієнт поздовжнього згину, що залежить від гнучкості стержня:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l_0}{i}, \quad (\text{дод. 13}), \quad (6.5)$$

$\mu = 1$ – коефіцієнт, що враховує закріплення стержня ;

l_0 – розрахункова довжина елемента;

i – мінімальний радіус інерції перерізу стержня:

$$i = (i_x, i_{x_0}, i_{y_0})_{\min} \quad (\text{див. дод. 14});$$

Примітка: брати гнучкість стиснутого стержня при розрахунках не більше $\lambda_{\max} = 160$.

Перевіряємо стійкість стержнів 2, 3, 4, 5, довжина яких

$l_0 = \frac{a_2}{2} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ м} = 240 \text{ см}$, і розглядаємо втрату стійкості щодо центральної осі перерізу кутика для найменшого радіуса інерції перерізу ($a_2 = 4,8\text{м}$ – дод. 9).

Умова міцності (6.4) містить два невідомих φ і F_k . Тому спочатку приймаємо $\varphi = 0,305$ (дод. 13) при значеннях гнучкості $\lambda = 150$, що близько до максимально припустимої гнучкості $\lambda_{\max} = 160$.

Знаходимо з (6.4) у першому наближенні площу перерізу кутика

$$F_k \geq \frac{|N|}{\varphi \cdot [\sigma]} = \frac{25120}{0,305 \cdot 120} = 686 \text{ мм}^2 = 6,86 \text{ см}^2.$$

За сортаментом (дод. 14) беремо кутик 63 x 63 x 6, для якого $F_k = 7,28 \text{ см}^2$, $i_{yo} = 1,24 \text{ см}$.

Обчислюємо з (6.5) гнучкість прийнятого кутика:

$$\lambda = \frac{240}{1,24} = 193,5 > \lambda_{\max} = 160.$$

Для прийнятого кутика гнучкість більша, ніж максимально припустима, крім того, для такої гнучкості значення коефіцієнта $\varphi \approx 0,196$, тому умова стійкості (6.4) не виконується:

$$\sigma = \frac{25120}{0,196 \cdot 7,28 \cdot 10^2} = 176 \text{ МПа} > [\sigma] = 120 \text{ МПа}.$$

Приймаємо більший кутик 80 x 80 x 6, для якого $F_k = 9,38 \text{ см}^2$, $i_{yo} = 1,58 \text{ см}$, гнучкість $\lambda = \frac{240}{1,58} = 152 < \lambda_{\max} = 160$ і,

лінійно інтерполюючи, знаходимо коефіцієнт поздовжнього вигину:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_B - \frac{(\varphi_B - \varphi_M) \cdot (\lambda - \lambda_M)}{(\lambda_B - \lambda_M)} = \\ &= 0,305 - \frac{(0,305 - 0,27) \cdot (152 - 150)}{(160 - 150)} = 0,298. \end{aligned}$$

Тут $\varphi_B = 0,305$; $\lambda_B = 160$; $\varphi_M = 0,27$; $\lambda_M = 150$ – відповідно більше і менше значення гнучкості й коефіцієнта φ (дод. 13), де лежить розрахункове значення $\lambda = 152$.

Перевіряємо виконання умови стійкості (6.4)

$$\sigma = \frac{25120}{0,298 \cdot 9,38 \cdot 10^2} = 90 \text{ МПа} < [\sigma] = 120 \text{ МПа.}$$

Для кутика 80 x 80 x 6 умови стійкості й обмеження гнучкості для першої траверси виконуються.

Для другої і третьої траверс довжина стержнів 2 і 3: $l_0 = a_1 = a_3 = 2,8 \text{ м} = 280 \text{ см}$. Цей розмір більший, ніж для першої траверси.

Найбільше зусилля стиску $|N_2| = 20112 \text{ кН}$ (табл. 6.2).

Перевіряємо для цих стержнів виконання умов обмеження гнучкості для кутика 80 x 80 x 6.

З (6.5) одержимо

$$\lambda = \frac{280}{1,58} = 177,2 > \lambda_{\max} = 160.$$

Умова гнучкості не виконується. Тому приймаємо за сортаментом наступний кутик 90 x 90 x 7, для якого $F_k = 12,3 \text{ см}^2$, $i_{yo} = 1,78 \text{ см}$. Перевіряємо виконання умови обмеження гнучкості й умови стійкості (6.4):

$$\lambda = \frac{280}{1,78} = 157,3 > \lambda_{\max} = 160;$$

$$\sigma = \frac{20112}{0,28 \cdot 12,3 \cdot 10^2} = 58 \text{ МПа} < [\sigma] = 120 \text{ МПа.}$$

Умови виконуються.

Тут

$$\varphi = 0,305 - \frac{(0,305 - 0,27) \cdot (157,3 - 150)}{(160 - 150)} = 0,28 -$$

коефіцієнт поздовжнього вигину при $\lambda = 153,7$.

6.4. Розрахунок з'єднань елементів траверс

Стержні траверс 2, 3, 4, 5 – кутики 90 x 90 x 7, приварені до сполучних косинок. Найбільше навантаження на кутик (рис. 6.5) $|N_2| = 25120$ Н (п.6.1). Беремо товщину косинки $b_k = d = 8$ мм (округляємо до значень, кратних 2), приймаємо також катет зварного шва $k = 5$ мм (катет шва дорівнює (3-6) мм – але не більший товщини полиці кутика d).

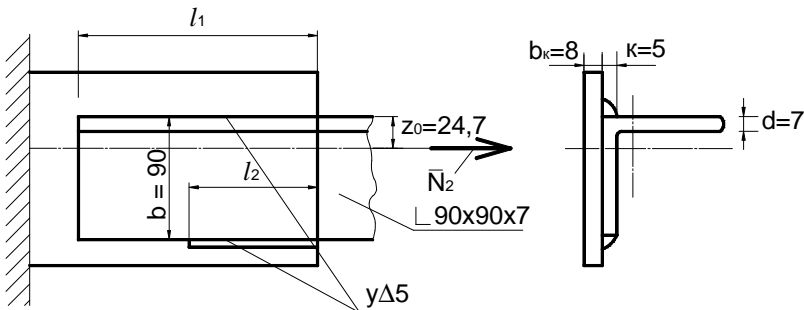


Рис. 6.5

Необхідну довжину зварного шва $\ell_{ш}$ знаходимо з умови міцності шва на зріз:

$$\tau = \frac{N}{\ell_{ш} \cdot 0,75k} \leq [\tau]. \quad (6.6)$$

Обчислюємо $\ell_{ш} \geq \frac{25120}{0,7 \cdot 5 \cdot 80} = 88 \text{ мм} = 90 \text{ мм}$ (закругляємо до

значень, кратних 5).

Тут $[\tau] = 80 \text{ МПа}$ – напруження зварного шва, що допускаються, на зріз.

Кутики, навантажені поздовжньою силою N_2 по нейтральній осі, а зварні шви розташовані несиметрично, тому навантажені неоднаково. Позначимо довжини швів ℓ_1 і ℓ_2 (рис 6.5). Знайдемо довжину швів з умови пропорційності їх відстаней до нейтральної осі. Маємо

$$\ell_1 + \ell_2 = \ell_{ш}; \ell_1 \cdot z_0 = \ell_2 \cdot (b - z_0).$$

Розраховуємо

$$\ell_2 = \frac{90 \cdot 24,7}{90} = 24,7 \text{ мм}; \ell_1 = 90 - 24,7 = 65,3 \text{ мм}.$$

Знайдені значення з урахуванням непровару шва збільшуємо на 10-15 мм і округляємо до значень, кратних 5 (найменша довжина шва 30 мм).

Остаточо

$$\ell_1 = 65,3 + 10 \approx 75 \text{ мм}, \ell_2 = 24,7 + 15 \approx 40 \text{ мм}.$$

Стержні 1,7 траверс – прутки діаметром $d_k = 24 \text{ мм}$ приварені до вилок 2, що виконані з листа товщиною $b_e = b_k = 8 \text{ мм}$ (рис 6.6).

Найбільше навантаження на перший стержень $N_1 = 47927 \text{ Н}$ (п. 6.1).

Стержень приварений довилки чотирма швами катетом $k = 3 \text{ мм}$. З умови міцності (6.6) обчислюємо сумарну довжину зварних швів

$$\ell_{ш} \geq \frac{47927}{0,7 \cdot 3 \cdot 80} = 285 \text{ мм.}$$

Знаходимо довжину одного шва: $\ell_{\epsilon} = \frac{\ell_{ш}}{4} = \frac{285}{4} = 71 \text{ мм.}$

З урахуванням непровару шва маємо $\ell_{\epsilon} = 71 + 10 \approx 85 \text{ мм.}$

Вилка 2 кріпиться до косинки болтом 3 (рис 6.6). З умови міцності на зріз знаходимо необхідний діаметр болта d_{δ} :

$$\tau_{зр} = \frac{N_1}{\frac{i_{\epsilon} \cdot \pi \cdot d_{\delta}^2}{4}} \leq [\tau]_{зр}; \quad (6.7)$$

$$d_{\delta} = \sqrt{\frac{N_1 \cdot 4}{i_{\epsilon} \cdot \pi \cdot [\tau]_{зр}}} = \sqrt{\frac{47927 \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot 60}} = 22,6 \text{ мм,}$$

де $i_{\epsilon} = 2$ – число площин зрізу;

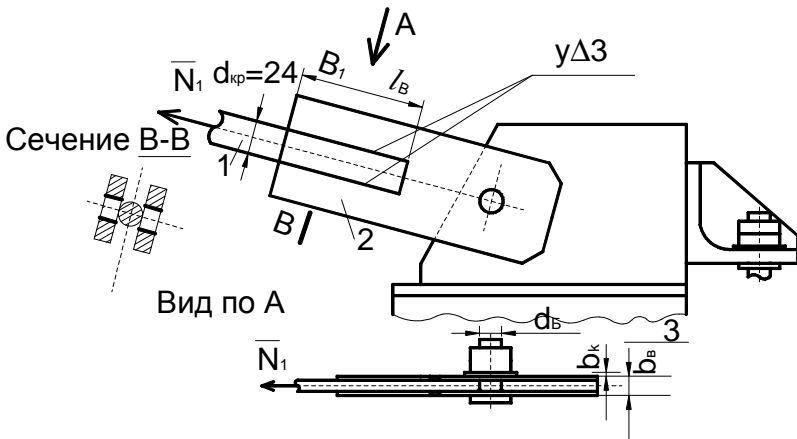


Рис. 6.6

$[\tau]_{зр} = 60 \text{ МПа}$ напруження на зріз для сталі 35, що допускається.

Закругляємо, збільшуючи до значень ряду: 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 27; 30; 33; 36, що відповідають діаметрам метричного різьблення.

Приймаємо $d_{\sigma} = 24$ мм.

Перевіряємо міцність контактуючих поверхонь болтового з'єднання на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{N_1}{d_{\sigma} \cdot b_{\min}} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (6.8)$$

де $b_{\min} = b_k = 8$ мм – найменша товщина контактних поверхонь;
 $[\sigma]_{зм} = 200$ МПа – напруження листа на зминання, що допускаються.

Обчислюємо

$$\sigma_{зм} = \frac{47927}{24 \cdot 8} = 249,6 \text{ МПа} > [\sigma]_{зм} = 200 \text{ МПа}.$$

Умова міцності не виконується, тому приймаємо більшу товщину косинки $b_k = 10$ мм.

Знову перевіряємо умову міцності (6.8):

$$\sigma_{зм} = \frac{47927}{24 \cdot 10} = 199,7 \approx [\sigma]_{зм} = 200 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

6.5. Висновки

У результаті розрахунку беремо такі перерізи стержнів (рис. 6.1 і 6.3):

- стержень 1 і 7 круглого перерізу діаметром 24 мм (стержні розтягнуті):

- стержні 2, 3, 4, 5, 6 першої траверси - кутик 90 x 90 x 7;

- стержні 2,3 другої й третьої траверс - кутик 90 х 90 х 7.

Товщина косинки з'єднання кутиків $b_k = 8$ мм (рис. 6.5).

Довжини зварних швів з'єднання кутиків із косинкою $\ell_1 = 75$ мм, $\ell_2 = 40$ мм, катет шва $k = 5$ мм.

Товщина листів вилки з'єднання стержня 1 з косинкою $b_g = 8$ мм, товщина листа косинка з'єднання зі стержнем $b_k = 10$ мм, стержень приварений до вилки чотирма швами з катетом 3 мм і довжиною 85 мм кожний (рис. 6.6).

Діаметр болта з'єднання вилки з косинкою – 24 мм.

Креслення опори й схема провисання проводів і тросів додається.

На кресленні зобразить положення проводів і троса для трьох основних режимів (п.2.4.7 і 3.4.7) і знайдіть графічно вертикальну відстань поміж проводами, тросом і землею (режими найбільшого навантаження, нижчої температури й вищої температури - відповідно позначено: для проводу P_o, P_+, P_- ; для троса T_o, T_+, T_- .

Відстані знаходять без урахування відхилень від вертикалі під тиском вітру.

Примітка: При проходженні ПЛ в ненаселеній місцевості вертикальна відстань від проводів до поверхні землі повинна бути в нормальному режимі не менше

ПЛ. до 110 кв. – 6,0 м;

ПЛ. 150 кв. – 6,5 м;

ПЛ. 220 кв. – 7,0 м.

7. Розстановка опор за профілем траси

7.1. Перше наближення приведенного прольоту

При розстановці опор мають бути враховані дві основні умови:

а) відстані від проводів до землі і споруд, що перетинаються, мають бути не менш необхідних ПУЕ (додаток 7);

б) навантаження, що сприймається опорами, не повинне перевищувати значень, прийнятих в розрахунках опор.

Окрім цього, слід уникати розташування опор на місцях, що вимагають виконання спеціальних фундаментів.

Профіль траси ВЛ зазвичай є ламаною лінією і для дотримання першої умови необхідно мати прольоти різної довжини.

Для визначення прольотів зазвичай розстановку опор проводять із застосуванням шаблонів, що зображають криві найбільшого провисання дроту, побудовані на підставі розрахунку напруги і стріл провисання. При розстановці опор можуть бути два основні випадки: перший, коли дроти кріпляться на кожній опорі нерухомо натяжними гірляндами; другий, коли дроти кріпляться на кожній опорі рухомо на підтримуючих гірляндах ізоляторів або на роликівих підвісах.

У першому випадку розрахунок і монтаж проводів проводиться в кожному прольоті окремо при відповідних значеннях стріл провисання.

У другому випадку тяжіння проводів в суміжних прольотах вирівнюється і у всій анкерованій ділянці встановлюється практично однакове тяжіння, відповідне приведеному прольоту:

$$l_{np} = \sqrt{\frac{\sum l_i^3}{\sum l_i}}, \quad (7.1)$$

де l_i – прольоти даної анкерованої ділянки.

Для прийнятої опори ПБ 150-1 приймаємо перше наближення приведенного прольоту $l_{np1} = 209$ м (див. пункт 2).

7.2. Визначення напруги і стріл провисання дроту

Знаходимо початковий режим розрахунку, приймаючи проліт $l = l_{np1} = 209$ м (додаток 8).

Оскільки $l_{1k} = 256,1 > l_{2k} = 99,8 > l_{3k} = 82,6$ м і $l = 209$ м $> l_{2k} = 99,8$ м, то початковим буде режим гололедної навантаження (ожеледь з вітром), для якого

$$[\sigma]_Г = 130 \text{ МПа}; \gamma_Г = 0,169 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t_Г = -5^0 \text{ С.}$$

Напругу в матеріалі дроту визначаємо з рівняння стану дроту [1]

$$\sigma^2 = \frac{D}{\sigma - B}. \quad (7.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Тут} \quad B &= \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 E l^2}{24 \sigma_0^2} - \alpha_t E (t - t_0); \\ D &= \frac{\gamma^2 E l^2}{24}; \end{aligned} \right\} \quad (7.3)$$

де σ, γ, t – відповідно напруга, приведенне навантаження і температура в шуканому режимі; σ_0, γ_0, t_0 – напруга, приведенне навантаження і температура в початковому стані. Рівняння (7.2) записуємо так:

$$y = \frac{D}{\sigma - B}; \sigma = \sqrt{y}. \quad (4.4)$$

1. Вибираємо первинний проміжок, в якому знаходиться корінь рівняння (7.2): якщо, то нижня межа $\sigma_n \approx 10$ МПа; якщо, то нижня межа $\sigma_n \approx B + 5$ (МПа); верхня межа проміжку σ_B приймається рівною напрузі даного режиму, що допускається.

2. Обчислюємо середню напругу проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_n + \sigma_B}{2}. \quad (7.5)$$

3. Визначаємо по напрузі σ_{cp} допомогою рівнянь (7.4) одну межу проміжку наступного наближення і по цій межі з тих же рівнянь (7.4) іншу межу проміжку.

4. Знаходимо з (4.5) середня напруга такого наближення.

Якщо, то процес уточнення припиняється, інакше переходимо до пункту 3 методики.

Для даного дроту прольотом $l = 209$ м; $E = 8,1 \cdot 10^4$ МПа; $\alpha_t = 19,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ початковим є режим гололедной навантаження.

Означає $\sigma_0 = [\sigma]_T = 130$ МПа; $\gamma_0 = \gamma_T = 0,169$ Н/(м·мм²); $t_T = -5^0$ С.

Знаходимо з (7.3)

$$B = 130 - \frac{0,169^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 209^2}{24 \cdot 130^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot (t - (-5)),$$

або

$$B = -119,1 - 1,56 \cdot (t + 5).$$

Знаходимо напругу і стріли провисання дроту в режимах ожеледь без вітру і вищої температури, при яких виникає максимальна вертикальна стріла провисання.

Режим вищої температури:

$$\gamma = \gamma_+ = \gamma_1 = 0,346 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t_r = +40^0 \text{ С.}$$

З урахуванням (7.3) отримаємо

$$D_+ = \frac{0,346^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 209^2}{24} = 177511,$$

$$B_+ = -119,1 - 1,56 \cdot (40 + 5) = -189,3.$$

Рівняння (7.4) приймає вигляд:

$$y = \frac{177511}{\sigma + 189,3}.$$

Знаходимо межі проміжку першого наближення: нижня межа $\sigma_n = 10$ МПа ($B = -189,3$); верхня межа дорівнює середньоексплуатаційному напрузі $\sigma_B = [\sigma]_e = 87$ МПа, що допускається (додаток 2).

Обчислюємо середню напругу проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{10 + 87}{2} = 48,5 \text{ МПа.}$$

З (7.4) знаходимо:

$$y(48,5) = \frac{177511}{48,5 + 189,3} = 746,5; \sigma = \sqrt{746,5} = 27,3 \text{ МПа (нижня межа);}$$

$$y(27,3) = \frac{177511}{27,3 + 189,3} = 819,5; \sigma = \sqrt{819,5} = 28,6 \text{ МПа (верхня межа).}$$

Середня напруга проміжку

$$\sigma_{cp} = \frac{27,3 + 28,6}{2} = 27,95 \text{ МПа.}$$

Продовжуємо обчислення:

$$y(28) = \frac{177511}{28+189,3} = 816,9; \quad \sigma = \sqrt{816,9} = 28,6 \text{ МПа.}$$

Межі значень двох останніх наближень збігаються.

Означає $\sigma_+ = 28,6$ Мпа.

Стріла провисання дроту:

$$f_+ = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_+} = \frac{0,0347 \cdot 209^2}{8 \cdot 28,6} = 6,65 \text{ м.}$$

Ожеледь без вітру:

$$\gamma = \gamma_{Г1} = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н/(ммм2)}; \quad t = t_{Г} = -5^0 \text{ С.}$$

Обчислюємо (7.3)

$$D_{Г1} = \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24} = \frac{0,156^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 209^2}{24} = 3587695,$$

$$B_{Г1} = -119 - 1,56 \cdot (-5 + 5) = -119.$$

Знаходимо (7.4):

$$y = \frac{3587696}{\sigma + 119}.$$

інтервал значень: $\sigma_n = 10$ МПа; $\sigma_B = [\sigma]_{Г} = 130$ МПа;

$$\sigma_{cp} = \frac{10+130}{2} = 70 \text{ МПа.}$$

$$y(70) = \frac{3587695}{70+119} = 18982; \quad \sigma_B = \sqrt{18982} = 137,8 \text{ МПа;}$$

$$y(137,8) = \frac{3587695}{137,8+119} = 13971; \quad \sigma_n = \sqrt{13971} = 118,2 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{118,2+137,8}{2} = 124 \text{ МПа;}$$

$$y(124) = \frac{3587695}{124+119} = 14764; \quad \sigma_H = \sqrt{14764} = 121,5 \text{ МПа};$$

$$y(121,5) = \frac{3587695}{121,5+119} = 14918; \quad \sigma_B = \sqrt{14918} = 122,1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{121,5+122,1}{2} = 121,7 \text{ МПа};$$

$$y(121,7) = \frac{3587695}{121,7+119} = 14899; \quad \sigma_B = \sqrt{14899} = 122,0 \text{ МПа}.$$

Оскільки

$$122,0 - 121,7 = 0,3 \text{ МПа}; \text{ то приймаємо } \sigma_{Г1} = 121,8 \text{ МПа}.$$

Стріла провисання дроту:

$$f_{Г1} = \frac{\gamma_3 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{Г1}} = \frac{0,156 \cdot 209^2}{8 \cdot 121,8} = 7,0 \text{ м}.$$

З обчислень видно, що для прольоту $l = l_{np1} = 209 \text{ м}$, найбільша стріла вертикального провисання дроту буде в режимі найбільшого навантаження $\gamma = \gamma_{Г1} = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2)$;
 $t = t_{Г} = -5^0 \text{ С}$; $\sigma_{Г1} = 121,8 \text{ МПа}$; стріла провисання: $f_{Г1} = 7,0 \text{ м}$.

7.3. Побудова шаблону

Шаблон (рис. 7.1) для розстановки опор за профілем траси є кривою 1 провисання дроту (парабола), побудованою для режиму, кричи якому виникає максимальна стріла провисання, і дві еквідистантні її криві.

Крива 1 (парабола) будується по формулі:

$$y = kx^2;$$

де $k = \frac{\gamma}{2\sigma} = \frac{0,156}{2 \cdot 121,7} = 6,39 \cdot 10^{-4}$; $\gamma = \gamma_{Г1} = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н}/(\text{м} \cdot \text{мм}^2)$;

$\sigma = \sigma_{Г1} = 121,8 \text{ МПа}$ – питоме навантаження і напруга при найбільшій стрілі провисання дроту.

Дріт АС 150/24;
 Напряга мережі 150 кВ;
 Район гололідності – IV;
 По натиску вітру – IV;
 Опора ПБ 150-1.

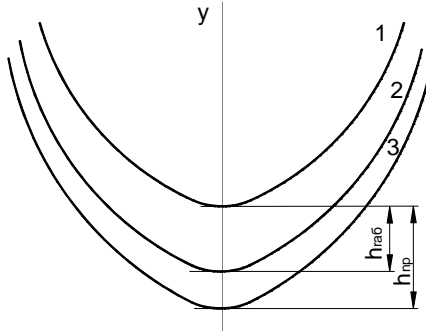


Рис. 7.1

Обчислення крапок (7.6) виконуємо для значень

$x = 0 \dots l = 210 \text{ м}$ і зводимо в таблицю 7.1.

Масштаби приймають наступні:

- горизонтальний 1 : 5000 (1 мм – 5 м);
- вертикальний 1: 500 (1 мм – 0,5 м).

Таблиця 7.1

| | | | | | | | | |
|------------------------------|---|-------|-----|-------|------|-------|-------|------|
| $X, \text{ м}$ | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 |
| $У$ масштабі $X, \text{ мм}$ | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| $Y, \text{ м}$ | 0 | 0,575 | 2,3 | 5,179 | 9,21 | 14,39 | 20,71 | 28,2 |
| $У$ масштабі $Y, \text{ мм}$ | 0 | 1,15 | 4,6 | 10,4 | 18,4 | 28,8 | 41,4 | 56,4 |

Точки кривої 2 (габаритна крива) шаблони зміщують вниз на величину

$$h_{заб} = \Gamma + 0,5 = 6,5 + 0,5 = 7 \text{ м} \quad (4.7)$$

(з урахуванням масштабу 14 мм),

де $\Gamma = 6,5$ м – найменша відстань від проводів ВЛ до поверхні землі для ненаселеної місцевості при $\Gamma = 150$ кВ (прил. 7); 0,5 – запас на неточності побудови і так далі

Крива 3 (земляна крива) зрушена вниз від кривої 1 на висоту над поверхнею землі точок кріплення нижнього дроту

$$h_{np} = h_1 - l_{\Gamma} = 13,5 - 1,65 = 11,85 \text{ м} \quad (4.8)$$

(у масштабі 23,7 мм.).

Тут $h_1 = 13,5$ м – висота закріплення гірлянди нижнього дроту на опорі Пб150-1 (додаток 9); $l_{\Gamma} = 1,65$ м – довжина гірлянди ізоляторів Пс16-б (додаток б).

Шаблон будують на міліметрівці і для зменшення помилки орієнтування паперу шаблону і профілю траси має бути однакою. На папері будують одну криву і потім копіюють тричі на кальку, зміщуючи по вертикалі. На шаблоні указують марку дроту, напругу ВЛ, тип опори, кліматичні умови (рис. 7.1).

7.4. Розстановка опор

Викреслюється в масштабі профіль траси (рис. 7.2, 7.3) на міліметрівці, орієнтування якої однакове для шаблону і профілю траси, і проводиться розстановка опор. Вісь шаблону при цьому має бути строго вертикальна.

Крива 1 шаблону показує положення дроту по відношенню до землі і об'єктів, що перетинаються.

Крива 2 не зобов'язана перетинати лінію профілю, і стосується його.

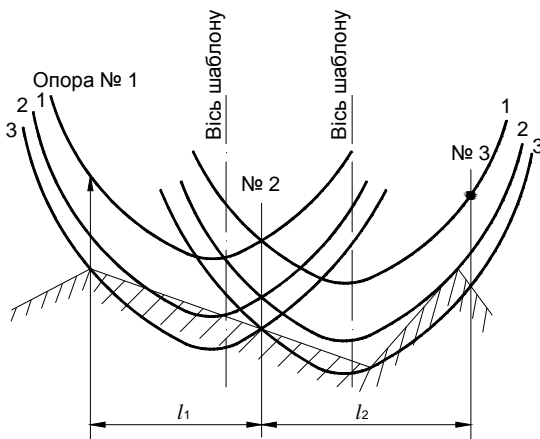


Рис. 4.2

Крива 3 в точках перетину з лінією профілю показує положення опор.

Якщо крива 3 перетинає лінію профілю кілька разів (другий проліт), то переважне місце установки опори – останнє місце перетину (рис. 7.2, 7.3). Розстановку опор починають від першої заданої анкерної опори (вихідні дані).

Після розстановки опор (рис. 7.3) вимірюють по схемі прольоти, сума яких повинна дорівнювати довжині анкерованої ділянки, і обчислюють з (7.1) наступне значення приведенного прольоту

$$l_{np2} = \sqrt{\frac{146,5^3 + 162,5^3 + 123,5^3 + 146^3 + 190^3 + 206^3 + 200^3 + 106^3}{146,5 + 162,5 + 123,5 + 146 + 190 + 206 + 200 + 106}} = 170,5 \text{ м.}$$

Оскільки знайдене значення приведенного прольоту істотно відрізняється від першого наближення $l_{np1} = 209$ м (відмінність

$$\frac{209-170,5}{170,5} = 0,23 \text{ або } 23\% > 6\%), \text{ то знаходять нові значення напруги і}$$

стріл провисання дроту.

В цьому випадку приймають $l = l_{np1} = 170,5$ м $l_{2k} = 99,8$ м.

Означає початковий режим те ж: ожеледь з вітром (додаток 8).

Напругу знаходимо з рівнянь (7.3) (7.4).

Обчислюємо з (7.3)

$$B = 130 - \frac{0,169^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 170,5^2}{24 \cdot 130^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot (t - (-5)),$$

або

$$B = -35,8 - 1,56 \cdot (t + 5).$$

Знаходимо напругу і стріли провисання дроту в режимах ожеледь без вітру і вищої температури, при яких виникає максимальна вертикальна стріла провисання.

Режим вищої температури:

$$\gamma = \gamma_+ = \gamma_1 = 0,346 \text{ Н/(м}\cdot\text{мм}^2); t_r = +40^0 \text{ С.}$$

З обліком (7.3) отримаємо

$$D_+ = \frac{0,346^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 170,5^2}{24} = 118141,$$

$$B_+ = -35,8 - 1,56 \cdot (40 + 5) = -106.$$

Рівняння (7.4) приймає вигляд:

$$y = \frac{118141}{\sigma + 106}.$$

Межі проміжку залишаються такими ж.

Нижня межа $\sigma_n = 10$ МПа ($B = -106$).

Верхня межа $\sigma_B = [\sigma]_e = 87$ МПа (додаток 2).

В цьому випадку перше наближення напруги приймаємо близьким до знайденого раніше: $\sigma = 28$ МПа.

З (7.4) знаходимо:

$$y(28) = \frac{118141}{28+106} = 881,6; \quad \sigma = \sqrt{881,6} = 29,7 \text{ МПа}$$

$$y(28) = \frac{118141}{29,7+106} = 875,1; \quad \sigma = \sqrt{875,1} = 29,6 \text{ МПа.}$$

Межі значень двох останніх наближень практично збігаються.

Означає $\sigma_+ = 29,6$ МПа.

Стріла провисання дроту:

$$f_+ = \frac{\gamma_1 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_+} = \frac{0,0347 \cdot 170,5^2}{8 \cdot 29,6} = 4,26 \text{ м.}$$

Ожеледь без вітру:

$$\gamma = \gamma_{Г1} = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н/(ммм2)}; \quad t = t_{Г} = -5^0 \text{ С.}$$

Обчислюємо (7.3)

$$D_{Г1} = \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24} = \frac{0,156^2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 170,5^2}{24} = 2387540,$$

$$B_{Г1} = -35,8 - 1,56 \cdot (-5 + 5) = -35,8.$$

Знаходимо (7.4):

$$y = \frac{2387540}{\sigma + 35,8}.$$

інтервал значень: $\sigma_n = 10$ МПа; $\sigma_B = [\sigma]_{Г} = 130$ МПа.

Починаємо обчислення для напруги близький до знайденому раніше $\sigma = 122,8$ МПа;

$$y(122) = \frac{2387540}{122+35,8} = 15130; \quad \sigma_B = \sqrt{15130} = 123 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{122+123}{2} = 122,5 \text{ МПа};$$

$$y(122,5) = \frac{2387540}{122,5+35,8} = 15082; \quad \sigma = \sqrt{15082} = 122,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cp} = \frac{122,5+122,8}{2} = 122,7 \text{ МПа}.$$

Оскільки

$$122,5 - 122,8 = 0,3 \text{ МПа}; \text{ то приймаємо } \sigma_{Г1} = \sigma_{cp} = 121,7 \text{ МПа}.$$

Стріла провисання:

$$f_{Г1} = \frac{\gamma_3 \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{Г1}} = \frac{0,156 \cdot 170,5^2}{8 \cdot 122,7} = 4,6 \text{ м}.$$

З обчислень видно, що для прольоту $l = l_{np1} = 170,5 \text{ м}$, найбільша стріла вертикального провисання дроту буде в режимі найбільшого навантаження $\gamma = \gamma_{Г1} = \gamma_3 = 0,156 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$;
 $t = t_{Г} = -5^0 \text{ З}$; $\sigma_{Г1} = 122,7 \text{ МПа}$; стріла провисання: $f_{Г1} = 4,6 \text{ м}$.

Оскільки напруга в дроті в режимі ожеледі без вітру для першого і другого наближень приведенного прольоту відрізняються трохи (відмінність $\frac{122,7-122}{122,7} = 0,006$ або $0,6\% < 6\%$), то прийнятий шаблон і розстановка опор залишаються без змін.

При суттєвій відмінності напруги (відмінність більше 6%) необхідно побудувати шаблон для нової напруги і провести перестановку опор.

Це викликається тим, що при меншій нарузі виникатимуть великі стріли провисання і не будуть витримані габарити до землі. При нарузі вище розрахункового, для якого будувався шаблон, будуть запаси в габаритах, що приведе до перевитрати опор.

Вимірюємо по схемі (рис. 7.3) і зводимо в таблицю 7.2 значень прольотів і перевищення точок підвіски проводів на опорах.

Обчислюємо вітровий проліт для кожної опори, який дорівнює напівсумі довжин суміжних прольотів (рис. 7.4, таблиця 7.2):

$$l_{\text{вiтp}(i)} = \frac{l_{(i-1)} + l_{(i)}}{2}, \quad (7.9)$$

де i – № опори; $l_{(i-1)}$ – проліт між $(i-1)^{\text{й}}$ і $(i)^{\text{й}}$ опорами.

Таблиця 7.2

| № прольоту | №, № опор | Довжина прольоту, м | Перевищення точок підвісу, м | № опори | Вітровий проліт, м | Ваговий проліт, м |
|------------|-----------|---------------------|------------------------------|---------|--------------------|-------------------|
| | | | | 1 | 73,5 | 21 |
| 1 | 1-2 | 146,5 | + 9,75 | 2 | 154,5 | 192,25 |
| 2 | 2-3 | 162,5 | + 3,0 | 3 | 143 | 152,73 |
| 3 | 3-4 | 123,5 | + 0,75 | 4 | 134,75 | 174,48 |
| 4 | 4-5 | 146 | -6,5 | 5 | 168 | 184,7 |
| 5 | 5-6 | 190 | -12,5 | 6 | 198 | 108,2 |
| 6 | 6-7 | 206 | + 10 | 7 | 203 | 207,75 |
| 7 | 7-8 | 200 | + 8,5 | 8 | 153 | 130,8 |
| 8 | 8-9 | 106 | + 7,5 | 9 | 53 | 108,56 |
| Всього | | 1280,5 | | | 1280,5 | 1280,49 |

Знаходимо вітровий проліт для опор (таблиця 7.2):

$$1 - l_{\text{вiм}p1} = \frac{146,5}{2} = 73,25 \text{ м};$$

$$2 - l_{\text{вiм}p2} = \frac{146,5 + 162,5}{2} = 154,5 \text{ м};$$

$$3 - l_{\text{вiм}p3} = \frac{162,5 + 123,5}{2} = 143 \text{ м і т.д.};$$

$$8 - l_{\text{вiм}p8} = \frac{200 + 106}{2} = 153 \text{ м};$$

$$9 - l_{\text{вiм}p9} = \frac{106}{2} = 53 \text{ м}.$$

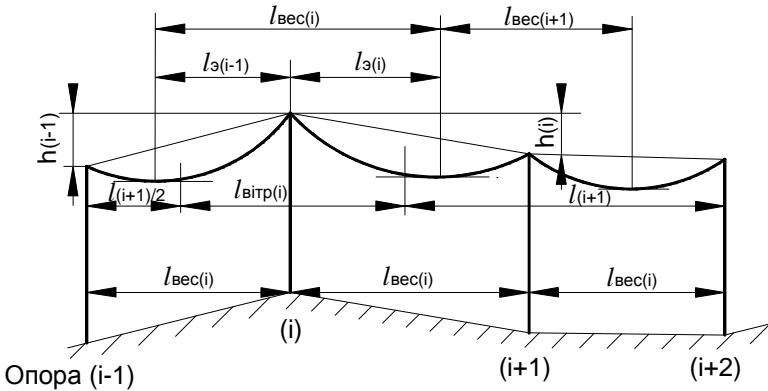


Рис. 7.4

Знаходимо ваговий проліт для кожної опори. Вага дроту передається на відповідні опори на ділянці від точки підвісу до нижньої точки дроту в прольоті (рис. 7.4).

Ваговий проліт для опори визначається як напівсума суміжних еквівалентних прольотів

$$l_{\text{вес}(i)} = \frac{l_{e(i-1)} + l_{e(i)}}{2}$$

або

$$l_{век(i)} = l_{вмп(i)} + \left(\frac{h_{(i-1)}}{l_{(i-1)}} - \frac{h_{(i)}}{l_{(i)}} \right) \cdot \frac{\sigma}{\gamma}, \quad (7.10)$$

де $h_{(i-1)}$ – різниця висот опор (i) і $(i-1)$; $h_{(i)}$ – різниця висот опор $(i+1)$ і (i) . Ця величина може мати знак «+» або «-» і може дорівнювати нулю.

$\sigma = \sigma_{\Gamma 1} = 121,7$ МПа; $\gamma = \gamma_{\Gamma 1} = \gamma_3 = 0,156$ Н/(м·мм²); напруга і навантаження при ожеледі без вітру; $l_{e(i)}, l_{e(i-1)}$ еквівалентні прольоти (рис. 7.4).

Обчислюємо:

$$l_{век(1)} = 73,25 + \left(-\frac{9,75}{146,5} \right) \cdot \frac{122,5}{0,156} = 210 \text{ м};$$

$$l_{век(2)} = 154,5 + \left(\frac{9,75}{146,5} - \frac{3}{162,5} \right) \cdot \frac{122,5}{0,156} = 192,25 \text{ м};$$

$$l_{век(3)} = 143 + \left(\frac{3}{162,5} - \frac{0,75}{123,5} \right) \cdot \frac{122,5}{0,156} = 152,73 \text{ м};$$

$$l_{век(4)} = 134,75 + \left(\frac{0,75}{123,5} + \frac{6,5}{146} \right) \cdot \frac{122,5}{0,156} = 174,48 \text{ м};$$

$$l_{век(5)} = 168 + \left(-\frac{6,5}{146} + \frac{12,5}{190} \right) \cdot \frac{122,5}{0,156} = 184,7 \text{ м};$$

і так далі

$$l_{век(9)} = 53 + \left(\frac{7,5}{106} \right) \cdot \frac{122,5}{0,156} = 108,56 \text{ м}.$$

Результати обчислень дані в таблиці 7.2. Сума значень вагових або вітрових прольотів дорівнює величині анкерної ділянки 1280,5 м (таблиця 7.2).

Вітрові і вагові прольоти для опор не повинні перевищувати середніх значень нормативних вітрових і вагових прольотів, обмежених міцністю опори (додаток 5).

Перевіряємо міцність опор, порівнюючи найбільші значення вітрового і вагового прольотів для опор проектованої ділянки траси і середнє нормативне значення цих прольотів для опори ПБ 150-1 (додаток 5)

$$\text{вітровий проліт} - \frac{195 + 325}{2} = 260 \text{ м};$$

$$\text{ваговий проліт} - \frac{220 + 310}{2} = 265 \text{ м} > l_{\text{вс}(6)} = 207,75 \text{ м. (7.11)}$$

Тут $l_{\text{вмп}(6)} = 203 \text{ м}$ і $l_{\text{вс}(6)} = 207,75 \text{ м}$ – найбільші розрахункові значення вітрового і вагового прольотів для опор проектованої ділянки траси (таблиця 7.2).

Умова міцності виконуються.

Якщо умови міцності не виконуються необхідно зменшити відповідні прольоти.

7.5. Перевірка опор на виривання

На ділянках траси, що проходять по пересіченій місцевості, перевіряються на виривання опори, для яких відмітка розташування опори знаходиться значно нижчим за відмітки двох сусідніх опор. Так, на рис. 7.3 і 7.5 опора б (або i^a) розташована нижче за опори 5 і 7 (опори $(i-1)^a$ і $(i+1)^a$).

Перевірку, чи відбудуватиметься виривання опори, вироблюваний так.

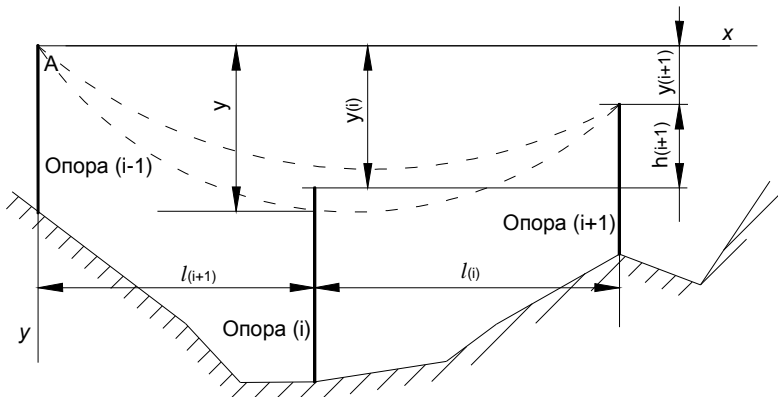


Рис. 7.5

1. Визначаємо з рівняння (7.4) напругу в дробі при нижчій температурі (див. пункти 7.1 і 7.4): $\gamma = \gamma_+ = \gamma_1 = 0,347 \text{ Н}/(\text{м}\cdot\text{мм}^2)$; $t_r = +40^0 \text{ С}$; для прольоту $l = l_{np2} = 170,5 \text{ м}$ при тому ж початковому режимі голольодного навантаження: $\sigma_0 = [\sigma]_r = 130 \text{ МПа}$; $\gamma_0 = \gamma_r = 0,169 \text{ Н}/(\text{м}\cdot\text{мм}^2)$; $t_r = -5^0 \text{ С}$.

Знаходимо з (7.3):

$$D_- = D_+ = 118141,$$

$$B_- = -35,8 - 1,56 \cdot (-40 + 5) = 18,8.$$

Рівняння (7.4) приймає вигляд:

$$y = \frac{118141}{\sigma - 18,8}.$$

Знаходимо межі першого наближення:

$$\sigma_n = 18,8 + 5 = 24 \text{ МПа}; \text{ (оскільки } B = +18,8),$$

$$\sigma_n = [\sigma]_- = 130 \text{ МПа}.$$

Обчислюємо середню напругу проміжку:

$$\sigma_{cp} = \frac{24+130}{2} = 77 \text{ МПа.}$$

З (7.4) знаходимо:

$$y(77) = \frac{118141}{77-18,8} = 2030; \quad \sigma_n = \sqrt{2030} = 45 \text{ МПа (нижня межа);}$$

$$y(45) = \frac{118141}{45-18,8} = 4509; \quad \sigma_B = \sqrt{4509} = 67 \text{ МПа (верхня межа).}$$

Межі значень середнього і напруги останнього наближення практично збігаються.

Означає $\sigma_- = 56,2$ МПа.

2. Вводимо систему координат xAy (рис. 7.6) і записуємо:

прольоти $l_{(i-1)} = 190$ м; $l_{(i)} = 206$ м;

координати (з урахуванням знаку) точок підвісу дроту на опорах

$$y_{(i)} = 12,5 \text{ м;} \quad y_{(i+1)} = y_{(i)} - h_{(i+1)} = 12,5 - 10 = 2,5 \text{ м.}$$

Тут $y_{(i)} = 12,5$ м, $y_{(i+1)} = 2,5$ м – координати точок підвісу дроту на i^i і $(i+1)^i$ опорах; $h_{(i+1)} = 10$ м – різниця висот опор $(i+1)^i$ і i^i .

2. Обчислюємо координату дроту в режимі нижчої температури $\gamma = \gamma_1 = 0,347$ Н/(м·мм²); при значенні координати

$x = l_{(i-1)} = 190$ м (опора i^a) для прольоту

$$l = l_{(i-1)} + l_{(i)} = 190 + 206 = 396 \text{ м.}$$

З рівняння провисання дроту

$$y = \gamma \cdot \frac{l-x}{2\sigma} + \frac{xh}{l} = 0,0347 \cdot 190 \cdot \frac{396-190}{2 \cdot 56,15} + \frac{190 \cdot 2,5}{396} = 13,3 \text{ м}$$

де $\gamma = \gamma_- = \gamma_1 = 0,0347 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2)$; $\sigma_- = 56,2 \text{ МПа}$; $h = y_{(i+1)} = 2,5 \text{ м}$.

Якщо $y = 13,3 \text{ м}$ менше $y_{(i)} = 12,5 \text{ м}$, то це означає, що на i^{y} опорі діятиме сила, направлена вгору. Для її усунення можуть бути здійснені такі заходи.

Перестановка i^{f} опори на вищу відмітку.

Застосування підвищеної i^{f} опори.

Установка анкерної i^{f} опори.

Підвіска компенсуючих вантажів. Найменша маса компенсуючих вантажів

$$M_{\text{кз}} = \left(\sigma \cdot \left(\frac{y_{(i)}}{l_{(i-1)}} + \frac{h_{(i+1)}}{l_{(i)}} \right) - \frac{l_{(i-1)} + l_{(i)}}{2} \right) \cdot \frac{\gamma F}{g}. \quad (7.13)$$

Тут g – прискорення вільного падіння; F – площа перетину дроту. Оскільки при розрахунках $y = 13,3 \text{ м}$ більше $y_{(i)} = 12,5 \text{ м}$, то прийнята розстановка опор залишається без змін, інакше обчислюється маса вантажу (7.13).

8. Виводи

Виконана розстановка проміжних опор типу ПБ 150-1 на анкерованій ділянці (рис. 7.3, таблиця 7.2) для дроту АС 150/24.

Довжина анкерованої ділянки 1280,5 м.

Приведений проліт 170,5 м.

Найбільший проліт: вітровий 203 м, ваговий 207,75 м.

Умови міцності проміжних опор виконуються.

Тяжіння дроту:

- у режимі ожеледі з льотом

$$H_{\Gamma} = \sigma_{\Gamma} \cdot F = 130 \cdot 173,2 = 2251 \text{ Н};$$

- при нижчій температурі

$$H_{-} = \sigma_{-} F = 56,2 \cdot 173,2 = 9734 \text{ Н};$$

- при вищій температурі

$$H_{+} = \sigma_{+} F = 29,6 \cdot 173,2 = 5127 \text{ Н}.$$

Тут $\sigma_{\Gamma} = 130$ МПа; $\sigma_{-} = 56,2$ МПа; $\sigma_{+} = 29,6$ МПа – напруга відповідного режиму (пп. 7.4; 7.5); $F = 173,2$ мм² – площа перетину дроту.

До роботи додаються рисунки: 7.1 (міліметрівка і калька); 7.3 (міліметрівка), 7.4 і 7.5 (схеми).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по проектированию линий электропередачи / Вяземский М.Б. и др. Под ред. Реута М.А. – М.: Энергия, 1980.
2. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередач. – М: Энергия, 1979.
3. Кесельман Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. Правила устройства электроустановок. Разд. И. Канализация электроэнергии. – 5 изд. – М.: Атомиздат, 1978.
5. Правила устройства электроустановок. – 6 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. Жуков В.Ф., Бакуменко П.В. К вопросу упрощенного расчета унифицированных железобетонных свободностоящих опор. Комунальное хозяйство городов: Наук.-техн. сб., Вип. 30. – К.: Техніка, 2001. – С. 143-146.

ДОДАТОК 1

Параметри проводів

| Марка проводу АС | Площа перерізу, мм ² | | Відно- шення А/С | Діаметр, мм | | Розривне зусилля $R \cdot 10^3, \text{Н}$ | Маса 1м провода, кг |
|------------------------|------------------------------------|------|------------------------|--------------------|-----------------------|---|---------------------------|
| | А | С | | Провод <i>d</i> | Стальний сердечник | | |
| 50/8,0 | 48,2 | 8,04 | 6,0 | 9,6 | 3,2 | 17,11 | 0,195 |
| 70/11 | 68,0 | 11,3 | 6,0 | 11,4 | 3,8 | 24,13 | 0,276 |
| 95/16 | 95,4 | 15,9 | 6,0 | 13,5 | 4,5 | 33,37 | 0,385 |
| 120/19 | 118,0 | 18,8 | 6,25 | 15,2 | 5,6 | 41,52 | 0,471 |
| 120/27 | 114,0 | 26,6 | 4,29 | 15,4 | 6,6 | 49,47 | 0,528 |
| 150/19 | 148,0 | 18,8 | 7,87 | 16,8 | 5,6 | 46,3 | 0,554 |
| 150/24 | 149,0 | 24,2 | 6,14 | 17,1 | 6,3 | 52,28 | 0,599 |
| 150/34 | 147,0 | 34,3 | 4,29 | 17,5 | 7,5 | 62,64 | 0,675 |
| 185/24 | 187,0 | 24,2 | 7,71 | 17,9 | 6,3 | 58,07 | 0,705 |
| 185/29 | 181,0 | 29,0 | 6,24 | 18,8 | 6,9 | 62,05 | 0,728 |
| 185/43 | 185,0 | 43,1 | 4,29 | 19,6 | 8,4 | 77,76 | 0,846 |
| 240/32 | 244,0 | 31,7 | 7,71 | 21,6 | 7,2 | 75,05 | 0,921 |
| 240/39 | 236,0 | 38,6 | 6,11 | 21,6 | 8,0 | 80,89 | 0,952 |

ДОДАТОК 2

Фізико-механічні дані проводів

| Марка проводу. Провід АС, переріз, мм ² | Приве- дене наван- таження від власної ваги γ_1 , Н/м·мм ² | Модуль пружно- сті E , МПа | Темпе- ратурний коєфі- цієнт лінійного розши- рення, α_t , град [°] 1 | Межа міц- ності σ_{BP} , МПа | Напруження, що допускаються, МПа | |
|---|---|---------------------------------------|---|---|--|--|
| | | | | | при найбіль- шому наванта- женні і нижчій t^0 $[\sigma]_o; [\sigma]_-$ | при серед- ньорічному t^0 . $[\sigma]_E$ |
| Від 35 до 95 при А:С=6,0-6,13 | 0,0346 | $8,25 \cdot 10^4$ | $19,2 \cdot 10^{-6}$ | 290 | 120 | 90 |
| 120 і більше при А:С=6,11-6,25 | 0,0346 | $8,25 \cdot 10^4$ | $19,2 \cdot 10^{-6}$ | 290 | 130 | 87 |
| 120 і більше при А:С=4,29-4,39 | 0,0371 | $8,9 \cdot 10^4$ | $18,3 \cdot 10^{-6}$ | 330 | 149 | 99 |
| 150 і більше при А:С=7,71-8,04 | 0,0334 | $7,7 \cdot 10^4$ | $19,8 \cdot 10^{-6}$ | 270 | 122 | 81 |

ДОДАТОК 3

Нормативна товщина стінки ожеледі b

| Район по ожеледі | b , мм | |
|---------------------|-------------|-------------|
| | $U < 35$ кв | $U > 35$ кв |
| I | 5 | 5 |
| II | 5 | 10 |
| III | 10 | 15 |
| IV | 15 | 20 |

ДОДАТОК 4

Максимальний нормативний швидкісний тиск вітру q

| Район по вітру | $U < 3$ кВ | $U > 3$ кВ |
|----------------|-------------------|------------|
| | $q, \text{Н/м}^2$ | |
| I | 270 | 400 |
| II | 350 | 400 |
| III | 450 | 500 |
| IV | 550 | 650 |

Коефіцієнт k_e , що враховує вплив довжини прольоту на вітрове навантаження:

$$k_e = 1,3 - 0,002 \cdot l \text{ при } 50 < l \leq 100 \text{ м;}$$

$$k_e = 1,125 - 5 \cdot 10^{-4} \cdot l \text{ при } 150 < l \leq 250 \text{ м;}$$

$$k_e = 1,2 - 10^{-3} \cdot l \text{ при } 100 < l \leq 150 \text{ м;}$$

$$k_e = 1 \text{ при } l > 250 \text{ м.}$$

Коефіцієнт C_x лобового опору:

- $C_x = 1,1$ для діаметра проводу чи троса при $d \geq 20$ мм вільних від ожеледі;

- $C_x = 1,2$ для $d < 20$ мм вільних від ожеледі і всіх проводів і тросів, покритих ожеледдю.

Коефіцієнт a_v нерівномірності тиску вітру по довжині прольоту:

$a_v = 1$ при напорі вітру до 270 Н/м^2 ; Проміжні значення a_v
 $a_v = 0,85$ при напорі вітру 400 Н/м^2 ; визначаються лінійною
 $a_v = 0,78$ при напорі вітру 500 Н/м^2 ; інтерполяцією
 $a_v = 0,75$ при напорі вітру 550 Н/м^2 ;
 $a_v = 0,73$ при напорі вітру 650 Н/м^2 ;
 $a_v = 0,7$ при напорі вітру 760 Н/м^2 .

ДОДАТОК 5

| Співвідношення критичних прольотів | Співвідношення заданого і критичних прольотів | Вихідний режим розрахунку |
|---|---|----------------------------------|
| $l_{1k} < l_{2k} < l_{3k}$ | $l < l_{1k}$ | $[\sigma]_-; \gamma_1; t_-$ |
| | $l_{1k} < l < l_{3k}$ | $[\sigma]_E; \gamma_1; t_E$ |
| | $l > l_{3k}$ | $[\sigma]_o; \gamma_{\max}; t_o$ |
| $l_{1k} > l_{2k} > l_{3k}$ | $l < l_{2k}$ | $[\sigma]_-; \gamma_1; t_-$ |
| | $l > l_{2k}$ | $[\sigma]_o; \gamma_{\max}; t_o$ |
| $l_{1k} < l_{2k}$ l_{3k} – мнімий або $l_{3k} \rightarrow \infty$ | $l < l_{1k}$ | $[\sigma]_-; \gamma_1; t_-$ |
| | $l > l_{1k}$ | $[\sigma]_E; \gamma_1; t_E$ |
| $l_{2k} < l_{3k}$ l_{1k} – мнімий | $l < l_{3k}$ | $[\sigma]_E; \gamma_1; t_E$ |
| | $l > l_{3k}$ | $[\sigma]_o; \gamma_{\max}; t_o$ |

ДОДАТОК 6

Як грозозахисні троси застосовують:

ПЛ 35 кв – канат 8,0-Н-1-С-1370 ГОСТ 3062-80;

ПЛ 110 кв та 150 кв – канат 9,1-Г-1-С-Н-1470 ГОСТ3063-80;

ПЛ 220 кв та вище – канат 11,0-Г-1 -СС-Н-1470 ГОСТ 3063-80.

Пояснення позначень:

Г – вантажний;

1 – першої марки;

С – проволочка оцинкована;

Н – канат, що не розкручується;

1370; 1470 – межа міцності (МПа).

| Діаметр канату, ММ | Площа перерізу, мм ² | Маса, кг/м | Приведене навантаження від власної ваги γ_1 , Н/м·мм ² | Модуль пружності E , МПа | Температурний коефіцієнт лінійного розширення, α_t , град ⁻¹ | Напруження, що допускаються, МПа | |
|--------------------|---------------------------------|------------|--|----------------------------|--|----------------------------------|--------------|
| | | | | | | $[\sigma]_o = [\sigma]_-$ | $[\sigma]_E$ |
| 8,0 | 38,01 | 0,33 | 0,08 | $2 \cdot 10^5$ | $12 \cdot 10^{-6}$ | 310 | 260 |
| 9,1 | 48,64 | 0,4175 | 0,08 | $2 \cdot 10^5$ | $12 \cdot 10^{-6}$ | 310 | 260 |
| 11,0 | 72,58 | 0,623 | 0,08 | $2 \cdot 10^5$ | $12 \cdot 10^{-6}$ | 310 | 260 |

ДОДАТОК 7

Характеристики підвісних ізоляторів у гірляндах ПЛ із залізобетонними опорами

| Номінальна напруга, кВ | Тип ізолятора | Руйнуюча електро-механічного навантаження, Н | Кількість ізоляторів | Довжина гірлянди, м | Вага гірлянди, Н |
|------------------------|---------------|--|----------------------|---------------------|------------------|
| 35 | ПФ6 | $6 \cdot 10^4$ | 3 | 0,8 | 230 |
| 35 | ПС6-А | $6 \cdot 10^4$ | 3 | 0,8 | 230 |
| 110 | ПФ6-А | $6 \cdot 10^4$ | 7 | 1,5 | 495 |
| 110 | ПС12-А | $12 \cdot 10^4$ | 7 | 1,5 | 495 |
| 150 | ПФ6-А | $6 \cdot 10^4$ | 9 | 1,85 | 610 |
| 150 | ПС16-Б | $16 \cdot 10^4$ | 8 | 1,65 | 540 |
| 220 | ПФ6-Б | $6 \cdot 10^4$ | 14 | 2,5 | 920 |
| 220 | ПС16-Б | $16 \cdot 10^4$ | 12 | 2,1 | 800 |

ДОДАТОК 8

Характеристики залізобетонних опор

| Шифр опори | Тип стояка | Район по ожеледі | Маса опори, т |
|------------|------------|------------------|---------------|
| ПБ35-1 | СК-1 | I-II | 4,6 |
| ПБ35-3 | СК-1 | III-IV | 4,6 |
| ПБ110-3 | СК-2 | I-II | 5,2 |
| ПБ110-5 | СК-2 | III-IV | 5,2 |
| ПБ150-1 | СК-2 | I-IV | 5,2 |
| ПБ220-1 | СК-5 | I-II | 7,2 |
| ПБ220-3 | СК-7 | I-IV | 7,2 |

Примітка: У найменуванні опор позначається вид опори:

П – проміжна;

К – кутова й аркерно-кутова;

С – спеціальна.

Матеріал опори:

Б – залізобетон;

Д – дерево;

метал не вказується.

Напруга лінії, Кв: 35, 110 і т.д.

Потім через дефіс вказується порядковий номер опори, де одноланцюгові позначаються непарними цифрами, а дволанцюгові – парними.

ДОДАТОК 9

Геометричні й міцнісні характеристики залізобетонних опор

| Схема опори | Шифр опори | Висота, м | | | | | Розміри траверс, м | | |
|-------------|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| | | h_0 | h_1 | h_2 | h_3 | h_4 | a_1 | a_2 | a_3 |
| | ПБ35-1 | 3,0 | 15,5 | 3,0 | 2,5 | 0,5 | 1,0 | 2,5 | 1,0 |
| | ПБ35-3 | 3,0 | 14,5 | 4,0 | 1,75 | 0,5 | 1,75 | 1,75 | 1,0 |
| | ПБ110-3 | 3,0 | 14,5 | 3,0 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | 3,5 | 2,0 |
| | ПБ110-5 | 3,0 | 14,5 | 4,0 | 2,0 | 0,7 | 2,0 | 3,5 | 2,0 |
| | ПБ150-1 | 3,0 | 13,5 | 4,0 | 2,5 | 0,7 | 2,5 | 4,0 | 2,5 |
| | ПБ220-1 | 3,3 | 16,0 | 5,5 | 2,8 | 0,7 | 2,8 | 4,8 | 2,8 |
| | ПБ220-3 | 3,3 | 17,5 | 5,5 | 2,8 | 0,7 | 2,8 | 4,8 | 2,8 |

Продовження додатку 9

| Шифр опори | Тип стояка | Розміри траверс, м | | Діаметр стояка, мм | | Граничний момент, кН·м | |
|------------|------------|--------------------|-------|--------------------|-------|------------------------|---------------------------|
| | | h_5 | h_6 | d_1 | d_2 | За міцністю M_{zp} | За тріщиностійкості M_t |
| ПБ35-1 | СК-1 | 1,0 | 0,5 | 334 | 560 | 282 | 71,3 |
| ПБ35-3 | СК-1 | 1,0 | 0,5 | 334 | 560 | 282 | 71,3 |
| ПБ110-3 | СК-2 | 1,5 | 1,0 | 334 | 560 | 326 | 69,0 |
| ПБ 110-5 | СК-2 | 1,5 | 1,0 | 334 | 560 | 326 | 69,0 |
| ПБ 150-1 | СК-2 | 1,6 | 1,2 | 334 | 560 | 326 | 69,0 |
| ПБ220-1 | СК-5 | 1,6 | 1,2 | 410 | 650 | 472 | 110,7 |
| ПБ220-3 | СК-7 | 1,6 | 1,2 | 410 | 650 | 542 | 106,0 |

Примітка: для опор ПБ35 додатковий підкіс (ДП) не встановлюється.

ДОДАТОК 10

Середнє розподілене вітрове навантаження P_e на залізобетонні конічні стояки

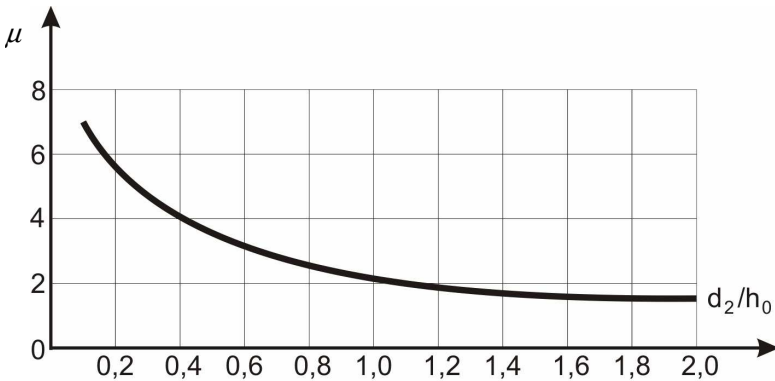
| Діаметр основи стояка d_2 , мм | P_e , Н/м | | | | |
|-------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | Швидкісний напір q , Н/м ² (додаток 4) | | | | |
| | 400 | 500 | 550 | 650 | 800 |
| 560 | 95 | 126 | 144 | 172 | 216 |
| 650 | 126 | 167 | 195 | 231 | 295 |

Примітка: При $q < 400$ Н/м² навантаження P_e визначається інтерполяційною формулою: $P_e = P_e(400) \cdot \frac{q}{400}$, де $P_e(400)$ відповідне значення навантаження P_e при $q = 400$ Н/м².

ДОДАТОК 11

Графік залежності коефіцієнта μ від відношення $\frac{d_2}{h_0}$

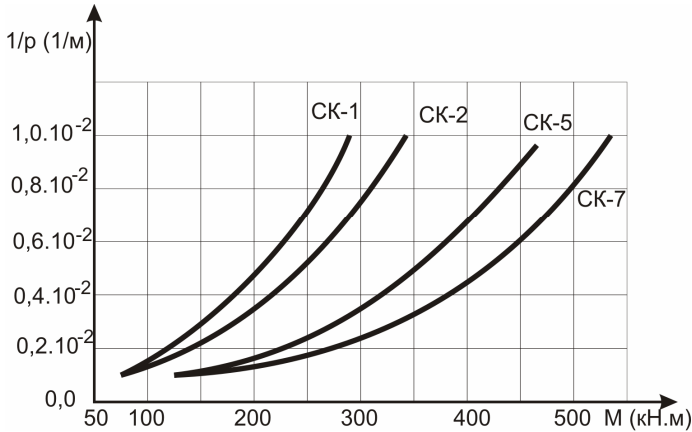
(d_2 – діаметр основи стояка, h_0 – заглиблення стояка у ґрунт – додаток 9).



ДОДАТОК 12

Рекомендації з визначення кривизни стійки ($1/\rho$) залежно від величини згинального моменту M для стояків СК-1, СК-2, СК-5, СК-7

1. При $M > M_T$ (M – відповідне наближення згинального моменту, M_T – момент тріщиностійкості (додаток 9)) кривизну знаходять за графіком даного додатка.



2. При $M = M_T$ кривизна стояків має такі значення:

| Тип стояка | СК-1 | СК-2 | СК-5 | СК-7 |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Кривизна $(1/\rho)_T, \text{м}^{-1}$ | $0,097 \cdot 10^{-2}$ | $0,105 \cdot 10^{-2}$ | $0,094 \cdot 10^{-2}$ | $0,097 \cdot 10^{-2}$ |

3. При $M < M_T$ кривизна визначається за лінійною інтерполяцією:

$$(1/\rho) = (1/\rho)_T \cdot \frac{M}{M_T},$$

тут $(1/\rho)_T$ – кривизна при моменті M_T .

ДОДАТОК 13

Коефіцієнти φ для центрально стиснутих стержнів із сталі

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Гнуч- кість λ | 0 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| Коефі- цієнт φ | 1,0 | 0,867 | 0,82 | 0,77 | 0,715 | 0,655 | 0,582 | 0,512 | 0,488 | 0,397 | 0,348 |

Продовження додатку 13

| | | | | | | |
|--|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Гнучкість λ | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 |
| Коефіцієнт φ | 0,305 | 0,27 | 0,24 | 0,216 | 0,196 | 0,175 |

Примітка: проміжні значення коефіцієнта φ визначаються лінійною інтерполяцією (див. п. 6.3).

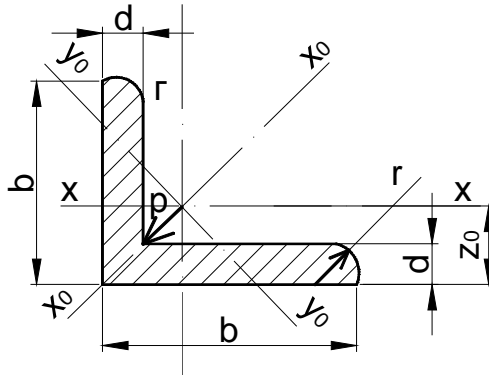
ДОДАТОК 14

Кутики сталеві рівнополічні – ДСТУ 2251-93

| № про- філю | Розміри, мм | | Площа пере- різу, см ² | Маса, кг/м | z ₀ , см | Довідкові дані для осей | | | | | |
|-------------------|----------------|-----|--|---------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| | b | d | | | | x - x | | x ₀ - x ₀ | | y ₀ - y ₀ | |
| | | | | | | J _x , см ⁴ | i _x , см | J _{x0} , см ⁴ | i _{x0} , см | J _{y0} , см ⁴ | i _{y0} , см |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3,2 | 32 | 3 | 1,86 | 1,46 | 0,89 | 1,77 | 0,97 | 2,8 | 1,23 | 0,74 | 0,63 |
| 3,6 | 36 | 3 | 2,1 | 1,65 | 0,99 | 2,56 | 1,1 | 4,06 | 1,39 | 1,06 | 0,71 |
| 4 | 40 | 3 | 2,35 | 1,85 | 1,09 | 3,55 | 1,23 | 5,63 | 1,55 | 1,47 | 0,79 |
| 4,5 | 45 | 3 | 2,65 | 2,08 | 1,21 | 5,13 | 1,39 | 8,13 | 1,75 | 2,12 | 0,89 |
| 5 | 50 | 3 | 2,96 | 2,32 | 1,33 | 7,11 | 1,55 | 11,3 | 1,95 | 2,95 | 1,00 |
| | | 4 | 3,89 | 3,05 | 1,38 | 9,21 | 1,54 | 14,6 | 1,94 | 3,80 | 0,99 |
| 5,6 | 56 | 3,5 | 3,86 | 3,03 | 1,5 | 11,6 | 1,73 | 18,4 | 2,18 | 4,80 | 1,12 |
| | | 4 | 4,38 | 3,44 | 1,52 | 13,1 | 1,73 | 20,8 | 2,18 | 5,41 | 1,11 |
| 6,3 | 63 | 4 | 4,96 | 3,9 | 1,69 | 18,9 | 1,95 | 29,9 | 2,45 | 7,81 | 1,25 |
| | | 6 | 7,28 | 5,72 | 1,78 | 27,1 | 1,93 | 42,9 | 2,43 | 11,2 | 1,24 |
| 7 | 70 | 4,5 | 6,2 | 4,87 | 1,88 | 29,0 | 2,16 | 46,0 | 2,72 | 12,0 | 1,39 |
| | | 6 | 8,15 | 6,39 | 1,94 | 37,6 | 2,15 | 59,6 | 2,71 | 15,5 | 1,38 |
| 7 | 70 | 8 | 10,7 | 8,37 | 2,02 | 48,2 | 2,13 | 76,4 | 2,68 | 20,0 | 1,37 |
| 7,5 | | 5 | 7,39 | 5,80 | 2,02 | 39,5 | 2,31 | 62,6 | 2,91 | 16,4 | 1,49 |
| | 75 | 7 | 10,1 | 7,96 | 2,10 | 53,3 | 2,29 | 84,6 | 2,89 | 22,1 | 1,48 |
| | | 9 | 12,8 | 10,1 | 2,18 | 66,1 | 2,27 | 105 | 2,86 | 27,5 | 1,46 |
| 8 | 80 | 6 | 9,38 | 7,36 | 2,19 | 57,0 | 2,47 | 93,4 | 3,11 | 23,5 | 1,58 |
| | | 7 | 10,8 | 8,51 | 2,23 | 65,3 | 2,45 | 104 | 3,09 | 27,0 | 1,58 |
| 9 | 90 | 7 | 12,3 | 9,64 | 2,47 | 94,3 | 2,77 | 150 | 3,49 | 38,9 | 1,78 |
| | | 8 | 13,9 | 10,9 | 2,51 | 106 | 2,76 | 168 | 3,48 | 43,8 | 1,77 |

Продовження додатка 14

| | | | | | | | | | | | |
|------|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 10 | 100 | 8 | 15,6 | 12,2 | 2,75 | 147 | 3,07 | 233 | 3,87 | 60,9 | 1,98 |
| | | 10 | 19,2 | 15,1 | 2,83 | 179 | 3,05 | 284 | 3,84 | 74,1 | 1,96 |
| | | 12 | 22,8 | 17,9 | 2,91 | 209 | 3,03 | 331 | 3,81 | 86,9 | 1,95 |
| 11 | 110 | 8 | 17,2 | 13,5 | 3,00 | 198 | 3,39 | 315 | 4,28 | 81,8 | 2,18 |
| 12,5 | 125 | 8 | 19,7 | 15,5 | 3,36 | 294 | 3,87 | 467 | 4,87 | 122 | 2,49 |
| | | 10 | 24,3 | 19,1 | 3,45 | 360 | 3,85 | 571 | 4,84 | 149 | 2,47 |
| | | 12 | 28,9 | 22,7 | 3,53 | 422 | 3,82 | 670 | 4,82 | 174 | 2,46 |
| 14 | 140 | 10 | 27,3 | 21,5 | 3,82 | 512 | 4,33 | 814 | 5,46 | 211 | 2,78 |
| | | 12 | 32,5 | 25,5 | 3,90 | 602 | 4,31 | 957 | 5,43 | 248 | 2,75 |
| 16 | 160 | 10 | 31,4 | 24,7 | 4,30 | 774 | 4,96 | 1229 | 6,25 | 319 | 3,19 |
| | | 12 | 37,4 | 29,4 | 4,39 | 913 | 4,94 | 1450 | 6,23 | 376 | 3,17 |
| | | 14 | 43,3 | 34,0 | 4,47 | 1046 | 4,92 | 1662 | 6,20 | 431 | 3,16 |
| | | 16 | 49,1 | 38,5 | 4,55 | 1175 | 4,89 | 1866 | 6,17 | 485 | 3,14 |
| 18 | 180 | 11 | 38,8 | 30,5 | 4,85 | 1216 | 5,60 | 1933 | 7,06 | 500 | 3,59 |
| 20 | 200 | 12 | 47,1 | 37,0 | 5,37 | 1823 | 6,22 | 2896 | 7,84 | 749 | 3,99 |
| | | 14 | 54,6 | 42,8 | 5,46 | 2097 | 6,20 | 3333 | 7,81 | 861 | 3,97 |
| | | 16 | 62,0 | 48,7 | 5,54 | 2363 | 6,17 | 3755 | 7,78 | 970 | 3,96 |



Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «**Механічний розрахунок повітряних ліній електропередач**» з курсу «**Технічна механіка**» (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання з напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» та слухачів другої вищої освіти).

Укладачі: Шпачук Володимир Петрович,
Склярів В'ячеслав Олександрович

Редактор: М. З. Аляб'єв

План 2009, поз. 241М

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Підп. до друку 16.09.08 | Формат 60x84 1/16. |
| Друк на ризографі. | Ум. друк. арк. 3,7 |
| Зам. № | Тираж 100 пр. |

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001