

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДІВ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НА МЕХАНІЧНУ МІЦНІСТЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ФОРМУЛ КАРДАНА

к.т.н. А.Ф. Лопухін, проф. В.Є. Пустоваров
(Українська інженерно-педагогічна академія)

Запропонований метод дослідження характеристик проводів ліній електропередачі за допомогою формул Кардана, який при багаторазовому визначенні напруженості матеріалу проводу спрощує розрахунок характеристик проводів і підвищує точність їх обчислювання.

Постановка проблеми. На механічну міцність проводів і тросів впливає багато факторів: матеріал проводу, температура навколишнього середовища, механічні навантаження, напруження матеріалу проводу та ін. Усе ці фактори впливають на надійність роботи, на вартість спорудження та експлуатації повітряних ліній електропередачі (ПЛЕП), на енергозбереження при передачі електроенергії. Дослідження характеристик проводів ПЛЕП на механічну міцність є актуальною проблемою.

Аналіз літератури. В літературних джерелах [1, 2 та ін.] наводяться дані про визначення основних характеристик механічної міцності проводів ПЛЕП. Залежності напруженості стану проводів від питомих механічних навантажень і температури навколишнього середовища визначаються рівняннями стану проводу у прольоті. Це рівняння є неповним кубічним і звичайно вирішується методами ітерацій, що потребує значних затрат часу.

Мета статті – запропонувати метод дослідження характеристик проводів ліній електропередачі із застосуванням формул Кардана для багаторазового рішення рівняння стану проводу у прольоті, що дає можливість значно підвищити точність і швидкість визначення коренів цього рівняння.

Рівняння стану проводу у прольоті має такий вигляд:

$$\sigma_x - \frac{\gamma_x^2 l^2}{24\beta\sigma_x^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 l^2}{24\beta\sigma_0^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_x - \theta_0), \quad (1)$$

де σ_x – напруження матеріалу проводу, яке необхідно знайти, $\frac{\partial_a H}{\text{мм}^2}$, воно визначається при дії питомого механічного навантаження γ_x , $\frac{\partial_a H}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ і тем-

ператури навколишнього середовища θ_x , °C; σ_0 – відоме напруження матеріалу проводу, при дії питомого механічного навантаження γ_0 і температури навколишнього середовища θ_0 , °C; l – довжина проміжного прольоту, м; α – коефіцієнт температурного подовшення; $\beta = 1/E$ – коефіцієнт пружного подовшення; E – модуль пружності.

Рівняння стану (1) після перетворень, наведених в [2, 3], з використанням критичних прольотів ($l_{кр}$) приводиться до неповного кубічного рівняння вигляду

$$\sigma_x^3 - A\sigma_x^2 - B = 0, \quad \text{при} \quad \sigma_x \neq 0, \quad (2)$$

де

$$A = \sigma_0 - \frac{\gamma_0 l^2}{24\beta\sigma_0^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_x - \theta_0); \quad (3)$$

$$B = \frac{\gamma_0^2 l^2}{24\beta}. \quad (4)$$

В [1, 2] коефіцієнти A і B визначають вручну або за допомогою ЕОМ, а рівняння (2) вирішують методом підбирання. При проектуванні таке рішення цілком задовольняє авторів, тому що знаходяться характеристики 3 – 5 точок. Для отримання економічної ефективності, необхідно проводити дослідження характеристик і параметрів за допомогою рівняння стану. При цьому визначається напруження матеріалу проводу, або блискавкозахисного тросу багаторазово. При дослідженні пропонується коефіцієнти A та B , а також формули критичних прольотів визначити із застосуванням ЕОМ, а рівняння (2) вирішити відомим методом формул Кардана [3]. При цьому коефіцієнти q , p , D , u , v , що наведені в формулах Кардана, а також остаточні величини y і x визначити за допомогою ЕОМ. Окрім того, задача рішення полегшується тим, що не має необхідності визначати уявні корені, тому що реально в умовах роботи повітряних ліній електропередачі дослідника цікавить тільки позитивне та негативне значення напруження матеріалу проводу.

Відомо [3], що рівняння 3-го ступеня

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0 \quad (5)$$

за методом Кардана поділяється на коефіцієнт a і в ньому вводиться нова змінна

$$y = x + b/a. \quad (6)$$

Після цих перетворень рівняння (5) набуває такого вигляду

$$y^3 + 3py + 2q = 0, \quad (7)$$

де

$$2q = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a}; \quad 3p = \frac{3ac - b^2}{3a^2}. \quad (8)$$

Дискримінант рівняння (7) повинен бути більше нуля, тобто

$$D = q^2 + p^3 > 0.$$

В рівнянні (7) нова змінна $y = u + v$,

$$\text{де } u = \sqrt[3]{-q + \sqrt{D}}; \quad v = \sqrt[3]{-q - \sqrt{D}}.$$

Отже $y = u + v$, а звідси визначаємо $x = y - b/a$.

Тепер зробимо останню заміну x на σ_x .

Розглянемо приклад.

Рівняння стану провoda у прольоті має такий вигляд:

$$a\sigma_x^3 + b\sigma_x^2 + c\sigma_x + d = 0,$$

де коефіцієнти мають такі значення $a = 1$; $b = 0$; $c = 6$; $d = 2$.

Рівняння (7) прийме такий вигляд

$$y^3 + 3 \cdot 2y + 2 \cdot 1 = 0,$$

де $p = 2$; $q = 1$.

Дискримінант рівняння $D = q^2 + p^3 = 1 + 2^3 = 9$.

Визначаємо корені рівняння $u = \sqrt[3]{2} = 1,26$; $v = \sqrt[3]{-4} = -1,59$.

Отже $y = u + v = -0,33$, а напруження матеріалу провoda, яке необхідно знайти, дорівнює $\sigma_x = y - \frac{b}{a} = -0,33 \frac{\partial_a H}{\text{мм}^2}$.

Висновки. Дослідження характеристик провodів і тросів повітряних ліній електропередачі потребує багаторазового рішення рівняння стану, яке є неповним кубічним. Використання ЕОМ в комбінації з методом Кардана дозволяє прискорити збіжність і забезпечує більшу точність рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глазунов А.А., Глазунов А.А. *Электрические сети и системы*. Госэнергоиздат, 1960. – 420 с.
2. Идельчик В.И. *Электрические системы и сети*. – М.: Энергоиздат, 1989. – 468 с.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике*. ГИТ-ТЛ. – М., 1953. – 606 с.

Надійшла 14.10.2003

ПУСТОВАРОВ Володимир Євгенович, канд. техн. наук, професор, професор УПА. У 1961 році закінчив Харківське вище військово-авіаційно-інженерне училище. Область наукових інтересів – радіоелектроніка та електроенергетика.

E-mail: vladimir@ic.kharkov.ua.

ЛОПУХІН Анатолій Федотович, к.т.н., доцент, доцент кафедри електроенергетики УПА. Область наукових інтересів – електроенергетика.