

## РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІЙСЬКОВОГО ОБ'ЄКТА

А.Б. Кульчицький, к.т.н. Ю.О. Кусакін  
(подав д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

*В статі пропонується вдосконалений метод двочленної формули для визначення розрахункової потужності споживачів електричної енергії військового об'єкта.*

**Постановка проблеми.** Задача вибору ряду потужностей джерел електричної енергії для електропостачання зразків озброєння і військової техніки безпосередньо пов'язана з визначенням розрахункових навантажень. Завищені значення навантажень призводять до нераціональних витрат коштів та викликають недовантаження елементів системи електропостачання. Занижене навантаження спричинить перегрівання струмомоведучих частин електрообладнання і тим самим пошкодження ізоляції та передчасний вихід техніки з ладу.

**Аналіз літератури.** При проектуванні нових об'єктів та при їх реконструкції найчастіше застосовуються виробничо-статистичні методи визначення навантажень [1–3], а саме методи коефіцієнтів попиту, питомих показників, Г.М. Каялова, двочленної формули.

За методом коефіцієнтів попиту розрахункове навантаження визначається за формулою

$$P_{\text{розр}} = k_n P_{\text{вст}}, \quad (1)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт попиту;  $P_{\text{вст}}$  – встановлена потужність.

Для кількох груп приймачів електричної енергії розрахункове навантаження визначається таким чином:

$$P_{\text{розр}} = k_{\Sigma} \sum_{i=1}^n k_{ni} P_{\text{вст}i}, \quad (2)$$

де  $k_{\Sigma}$  – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження;  $n$  – кількість груп приймачів електроенергії;  $k_{ni}$  – коефіцієнт попиту  $i$ -групи приймачів електроенергії зі встановленою потужністю  $P_{\text{вст}i}$ . Коефіцієнт  $k_{\Sigma}$  характеризує зміщення максимумів навантаження у часі і для його визначення необхідно мати експериментально отримані добові графіки навантажень.

Метод питомих показників застосовується тоді, коли відомі питомі навантаження на одиницю площі  $P_{\text{пит}}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , або відомі питомі витрати енергії на одиницю продукції  $W$ ,  $\text{кВт}/\text{год}$ . За цим методом розрахункові навантаження визначаються за формулами:

$$P_{\text{розр}} = P_{\text{пит}} F; \quad P_{\text{розр}} = \frac{W \cdot M}{T}, \quad (3)$$

де  $F$  – площа об'єкта,  $\text{м}^2$ ;  $M$  – кількість продукції, яка виробляється за час  $T$ .

Метод питомих показників найширше застосовується для визначення встановленої потужності об'єктів міського і сільського електропостачання. Цей метод не може бути прийнятним для військових об'єктів.

Визначення навантаження методом Г.М. Каялова зводиться до побудови упорядкованих діаграм та обчислення коефіцієнтів максимуму. Упорядковані діаграми будуються за один цикл шляхом розташування всіх ординат сумарного графіка  $P = f(t)$  в порядку зменшення. Характер діаграми визначається коефіцієнтом форми  $k_{\phi}$  графіка навантажень, який характеризує нерівномірність навантаження в часі

$$k_{\phi} = \frac{P_e}{P_{\text{сер}}}, \quad (4)$$

де  $P_e$  – ефективне навантаження;  $P_{\text{сер}}$  – середнє навантаження.

Ефективне навантаження за час  $T$  знаходиться таким чином:

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}. \quad (5)$$

Середнє навантаження за час  $T$  визначається з виразу

$$P_{\text{сер}} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt. \quad (6)$$

Величина розрахункового навантаження за методом Г.М. Каялова визначається за формулою

$$P_{\text{розр}} = K_M \cdot K_B \cdot K_{\text{ВСТ}}, \quad (7)$$

де  $K_M = \left( 1 - \sqrt{3 \cdot \sqrt{f_{\text{KB}}^2 - 1}} / \sqrt{n_e} \right) A k_{\phi} \cdot B$  – величина півгодинного коефіцієнта максимуму;  $f_{\text{KB}}$  – коефіцієнт, що враховує форму упорядкованої діаграми 4,  $A, B$  – постійні коефіцієнти, що описують упорядковану діаграму;  $K_B$  – коефіцієнт використання, який враховує наскільки в середньому ви-

користовується номінальна потужність;  $n_e = \left( \sum_{i=1}^n P_{вст} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{вст}^2$  – ефективна кількість приймачів електричної енергії.

Використання співвідношення (7) вимагає зняття добових графіків навантажень та визначення великого ряду постійних коефіцієнтів, що значно знижує точність результатів розрахунків.

Більш прийнятним для об'єктів військового призначення є метод двочленної формули, за яким розрахункове навантаження визначається зі співвідношення

$$P_{розр} = B_n \sum_{i=1}^n P_{вст_i} + B_m \sum_{j=n+1}^m P_{вст_j}, \quad (8)$$

де  $B_n$  та  $B_m$  – постійні коефіцієнти, які визначаються для характерних груп приймачів електричної енергії;  $\sum_{i=1}^n P_{вст_i}$ ,  $\sum_{j=n+1}^m P_{вст_j}$  – встановлені потужності  $i$  та  $j$  груп приймачів електричної енергії.

**Мета статті** – розробка удосконаленого методу двочленної формули.

**Основний матеріал.** Припустимо, що військовий об'єкт має  $K$  груп споживачів електричної енергії. Розрахункове навантаження об'єкта визначимо таким чином:

$$P_{розр} = B_0 + B_1 \sum_{i=1}^n P_{вст_i} + B_2 \sum_{j=n+1}^m P_{вст_j} + \dots + B_k \sum_{c=m+n+1}^e P_{вст_c}. \quad (9)$$

Для визначення коефіцієнтів  $B_0, B_1, B_2, \dots, B_k$  пропонується наступний метод. Проведемо  $S$  дослідів визначення потужності  $P_{розр}$  для фіксованих значень незалежних змінних  $P_{вст}$  для  $K$  груп в яких число споживачів дорівнює  $i, j$  та  $c$ . Вважаючи, що залежність (9) носить лінійний характер, для встановлення величин  $B_0, B_1, B_2, \dots, B_k$  необхідно вирішити наступну оптимізаційну задачу:

$$\delta = \sum_{r=1}^S \left[ P_{розр} - \left( B_0 + B_1 \sum_{i=1}^n P_{вст_{ir}} + B_2 \sum_{j=n+1}^m P_{вст_{jr}} + \dots + B_k \sum_{c=m+1}^l P_{вст_{cr}} \right) \right]^2 = \min, \quad (10)$$

де  $P_{вст_{ir}}, P_{вст_{jr}}, P_{вст_{cr}}$  – встановлена потужність приймачів  $i, j$  та  $c$  груп в  $r$ -му досліді.

При рішенні задачі (10) будемо виходити з наступних умов:

$$\frac{\partial \delta}{\partial B_0} = 0; \quad \frac{\partial \delta}{\partial B_1} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\partial \delta}{\partial B_k} = 0. \quad (11)$$

Виконуючи (11), отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial B_0} &= \sum_{r=1}^S \left[ P_{\text{розпр}_r} - \left( B_0 + B_1 \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}_{i\text{r}}} + B_2 \sum_{j=n+1}^m P_{\text{вст}_{j\text{r}}} + \dots + B_k \sum_{c=m+1}^1 P_{\text{вст}_{c\text{r}}} \right) \right]^2 = 0; \\ \frac{\partial \delta}{\partial B_1} &= \sum_{r=1}^S \left\{ P_{\text{розпр}_r} - \left[ B_0 + B_1 \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}_{i\text{r}}} + \dots + B_k \sum_{c=m+1}^1 P_{\text{вст}_{c\text{r}}} \right] \right\}^2 \times \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}_{i\text{r}}} = 0; \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{\partial \delta}{\partial B_k} &= \sum_{r=1}^S \left\{ P_{\text{розпр}_r} - \left[ B_0 + B_1 \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}_{i\text{r}}} + \dots + B_k \sum_{c=m+1}^1 P_{\text{вст}_{c\text{r}}} \right] \right\}^2 \times \sum_{c=m+1}^1 P_{\text{вст}_{c\text{r}}} = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Для скорочення запису будемо вважати, що

$$P_{\text{розпр}_r} = y_r; \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}_{i\text{r}}} = x_{1r}; \sum_{j=n+1}^m P_{\text{вст}_{j\text{r}}} = x_{2r}; \sum_{c=m+1}^1 P_{\text{вст}_{c\text{r}}} = x_{kr}.$$

Використовуючи введені скорочення, перетворимо (12) до вигляду:

$$\begin{aligned} B_0 \cdot S + B_1 \sum_{r=1}^S x_{1r} + B_2 \sum_{r=1}^S x_{2r} + \dots + B_k \sum_{r=1}^S x_{kr} &= \sum_{r=1}^S y_r; \\ B_0 \sum_{r=1}^S x_{1r} + B_1 \sum_{r=1}^S x_{1r}^2 + B_2 \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{2r} + \dots + B_k \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{kr} &= \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S y_r; \quad (13) \\ &\dots\dots\dots \\ B_0 \sum_{r=1}^S x_{kr} + B_1 \sum_{r=1}^S x_{kr} \sum_{r=1}^S x_{1r} + B_2 \sum_{r=1}^S x_{kr} \sum_{r=1}^S x_{2r} + \dots + B_k \sum_{r=1}^S x_{kr}^2 &= \sum_{r=1}^S x_{kr} \sum_{r=1}^S y_r. \end{aligned}$$

Рішення системи рівнянь (13) будемо шукати у вигляді:

$$B_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta}; B_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \dots; B_k = \frac{\Delta_k}{\Delta}, \quad (14)$$

де 
$$\Delta = \begin{vmatrix} S & \sum_{r=1}^S x_{1r} & \sum_{r=1}^S x_{2r} & \dots & \sum_{r=1}^S x_{kr} \\ \sum_{r=1}^S x_{1r} & \sum_{r=1}^S x_{1r}^2 & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{2r} & \dots & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{kr} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{r=1}^S x_{kr} & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{kr} & \sum_{r=1}^S x_{2r} \sum_{r=1}^S x_{kr} & \dots & \sum_{r=1}^S x_{kr}^2 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} \sum_{r=1}^S y_r & \sum_{r=1}^S x_{1r} & \sum_{r=1}^S x_{2r} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{kr} \\ \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S y_r & \sum_{r=1}^S x_{1r}^2 & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{2r} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{kr} \\ \sum_{r=1}^S x_{kr} \sum_{r=1}^S y_r & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{kr} & \sum_{r=1}^S x_{2r} \sum_{r=1}^S x_{kr} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{kr}^2 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} S & \sum_{r=1}^S y_r & \sum_{r=1}^S x_{2r} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{kr} \\ \sum_{r=1}^S x_{1r} & \sum_{r=1}^S x_{1r} y_r & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{2r} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S x_{kr} \\ \sum_{r=1}^S x_{kr} & \sum_{r=1}^S x_{1r} y_r & \sum_{r=1}^S x_{2r} \sum_{r=1}^S x_{kr} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{kr}^2 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_k = \begin{vmatrix} S & \sum_{r=1}^S x_{1r} & \sum_{r=1}^S x_{2r} & \cdots & \sum_{r=1}^S y_r \\ \sum_{r=1}^S x_{1r} & \sum_{r=1}^S x_{1r}^2 & \sum_{r=1}^S x_{1r} x_{2r} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{1r} \sum_{r=1}^S y_r \\ \sum_{r=1}^S x_{kr} & \sum_{r=1}^S x_{1r} x_{kr} & \sum_{r=1}^S x_{2r} x_{kr} & \cdots & \sum_{r=1}^S x_{kr} y_r \end{vmatrix}.$$

Співвідношення (14) дозволяють визначити значення всіх коефіцієнтів від  $V_0$  до  $V_k$ , і тим самим отримати залежність розрахункової потужності від встановлених потужностей окремих груп споживачів електричної енергії.

**Висновки.** 1. Запропонований метод визначення коефіцієнтів вдосконаленої двочленної формули вимагає проведення такої кількості досліджень  $S$  для визначення лінійної залежності розрахункової потужності від встановленої потужності  $K$  груп споживачів електричної енергії, при якій система рівнянь може бути розв'язаною. Це має місце при умові, якщо  $S > K$ .

2. Запропонований метод визначення розрахункової потужності дає мінімальну похибку в порівнянні з відомими методами розрахунку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Электроснабжение: В. 2 ч. Ч. 1 / Под ред. Б.Т. Кононова. – МО СССР, 1987. – 329 с.*
2. *Львовский Е.Н. Статистические методы построения электрических формул. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.*

3. Радушинский М.А., Соловьёва М.В. Особенности постановки и решения задачи размещения оборудования судовой энергетической установки // Вопросы судостроения. – 1977. – Вып. 13. – С. 82 – 94.

Надійшла 6.01.2004

**КУЛЬЧИЦЬКИЙ Андрій Борисович** – начальник електротехнічної служби Збройних Сил України. Область наукових інтересів – електропостачання.

**КУСАКІН Юрій Олександрович** – кандидат технічних наук, начальник факультету ХВУ. Область наукових інтересів – електропостачання.

---