

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ

*М. Й. Бурбело, д.т.н., проф., Ю. П. Войтюк
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна
E-mail: burbelo@energo.vstu.ua*

Розглянуті теоретичні та практичні питання визначення втрат електричної енергії в розподільчих мережах 10 кВ енергопостачаючих компаній. Проаналізовано розрахунок квадрата коефіцієнта форми на основі універсальних графіків навантаження. Розглянуто моделювання річного графіка за тривалістю з використанням бета-розподілу навантаження та нечіткого оцінювання з використанням спадних графіків.

Ключові слова: втрати електричної енергії, розподільчі електричні мережі, функції розподілення електричних навантажень.

Вступ. Проблема зниження втрат електричної енергії в розподільчих мережах була і є актуальною. Вирішення цієї проблеми дозволить енергопостачальним компаніям значно зменшити свої витрати на передачу електричної енергії в мережах.

Аналіз передніх досліджень. Визначення втрат електричної енергії в мережах енергопостачальних компаній базується на використанні методу середніх навантажень [1], згідно з яким втрати потужності розраховують для режиму середніх навантажень, а втрати електричної енергії визначають за формулою

$$\Delta W = \Delta P_C \cdot K_{\phi}^2 \cdot T,$$

де ΔP_C – втрати потужності в режимі середніх навантажень; K_{ϕ}^2 – квадрат коефіцієнта форми; T – розрахунковий період часу.

Для визначення квадрата коефіцієнта форми річного графіка навантаження найбільш простою є наближена формула

$$K_{\phi,a}^2 \approx \left(0,876 + \frac{0,124}{K_{3,z}} \right)^2,$$

де $K_{3,z}$ – коефіцієнт заповнення річного графіка, що є відношенням потужностей P_c / P_{\max} або відношенням числа годин використання максимальної потужності до річного числа годин T_m / T_p .

Для оцінювання коефіцієнта форми в [1] використано підхід [2, 3], який ґрунтується на використанні так званих універсальних графіків навантаження за тривалістю (рис. 1). Універсальні графіки можна апроксимувати такими залежностями (кривими Россандера):

$$P\left(\frac{t}{T}\right) = P_{\max} - P_{\max} - P_{\min} \left(\frac{t}{T}\right)^{\lambda};$$

$$P\left(\frac{t}{T}\right) = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min}) \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{\frac{1}{\lambda}},$$

відповідно при $\lambda \geq 1$ та $\lambda \leq 1$, де коефіцієнт λ розраховують за формулою

$$\lambda = \frac{P_c - P_{\min}}{P_{\max} - P_c}.$$

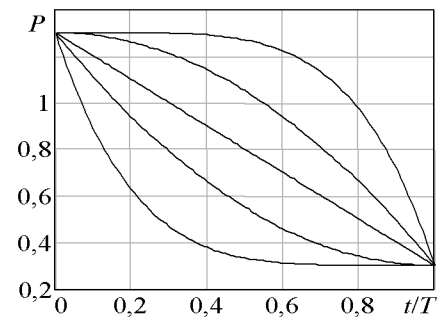


Рисунок 1 – Універсальні графіки навантажень

Квадрат коефіцієнта форми визначають з відношення

$$K_{\phi,a}^2 = \frac{\int_0^1 P^2(t/T) d(t/T)}{\left(\int_0^1 P(t/T) d(t/T) \right)^2}.$$

Формули для розрахунку квадрата коефіцієнта форми на основі універсальних графіків навантажень за тривалістю мають вигляд [1]:

$$K_{\phi,a}^2 = 1 + \frac{(P_{\max} - P_c)(P_c - P_{\min})^2}{P_c^2(P_{\max} + P_c - 2P_{\min})};$$

$$K_{\phi,a}^2 = 1 + \frac{(P_{\max} - P_c)^2(P_c - P_{\min})}{P_c^2(2P_{\max} - P_c - P_{\min})},$$

відповідно при $\lambda \geq 1$ та $\lambda \leq 1$.

Мета роботи. Як недолік використання універсальних кривих необхідно відмітити невідповідність функцій розподілу реальним навантаженням, а також відсутність можливості варіативного підбору моделі. Таким чином, виникає необхідність більш точного моделювання річних графіків навантажень.

Матеріал і результати дослідження. Перспективною є побудова моделі річного графіка навантаження як випадкової величини, що має бета-розподіл [4]. Моделювання річного графіка за тривалістю з використанням бета-розподілу навантаження запропоновано в [5]. Функцію щільності бета-розподілу можна представити у вигляді

$$f(P) = \frac{\Gamma(\gamma + \eta) (P - P_{\min})^\gamma (P_{\max} - P)^\eta}{\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta) (P_{\max} - P_{\min})^{\gamma + \eta + 1}},$$

де $\Gamma(z)$ – гамма-функція Ейлера

$$\Gamma(z) = \int_0^1 \ln^{z-1} \left(\frac{1}{x} \right) dx; \quad \gamma, \eta - \text{параметри розподілу}$$

або

$$f(P) = \frac{(\gamma + \eta + 1)! (P - P_{\min})^\gamma (P_{\max} - P)^\eta}{\gamma! \eta! (P_{\max} - P_{\min})^{\gamma + \eta + 1}}.$$

З використанням функцій бета-розподілу можна побудувати двомодальні функції розподілу навантаження:

$$f(P) = \frac{(\gamma + \eta + 1)! (P - P_{\min})^\gamma (P_{\max} - P)^\eta}{2\gamma! \eta! (P_{\max} - P_{\min})^{\gamma + \eta + 1}} + \frac{(\gamma + \eta + 1)! (P - P_{\min})^\eta (P_{\max} - P)^\gamma}{2\gamma! \eta! (P_{\max} - P_{\min})^{\gamma + \eta + 1}}.$$

Квадрат коефіцієнта форми з урахуванням будь-якого розподілу навантаження визначають з відношення

$$K_{\phi.a}^2 = \frac{\int_{P_{\min}}^{P_{\max}} P^2 f(P) dP}{\left(\int_{P_{\min}}^{P_{\max}} P f(P) dP \right)^2}.$$

На рис. 2 зображені функція щільності (крива 1) та інтегральна функція (крива 2) бета-розподілу при $\gamma = 1, \eta = 2$ ($K_{\phi.a}^2 = 1,25$), а на рис. 2 – двомодальному бета-розподілу при $\gamma = 1, \eta = 5$ ($K_{\phi.a}^2 = 1,333$).

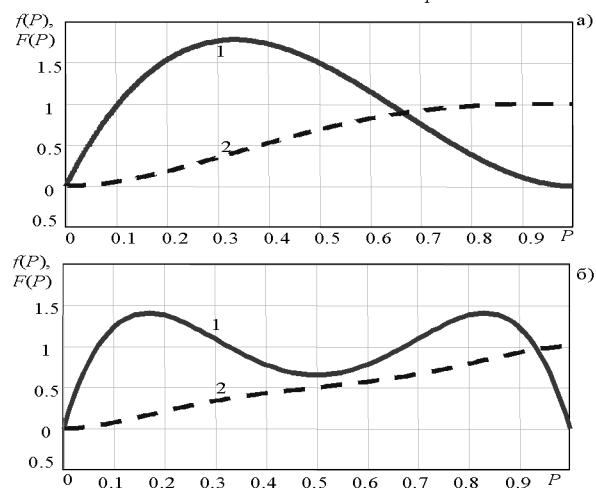


Рисунок 2 – Функції бета-розподілу та двомодального бета-розподілу

Змінюючи значення параметрів бета-розподілу γ, η , можна більш точно підібрати моделі річних графіків навантажень, а отже й більш точно визначити втрати електроенергії.

У [6] запропоновано методику наближеного визна-

чення часу максимальних втрат, яка базується на відмінностях дисперсій графіків навантажень. Суть визначення коефіцієнта форми полягає в тому, що на основі параметрів електроспоживання визначають верхню межу квадрата коефіцієнта форми графіка навантаження. Верхня межа відповідає двоступеневому графіку, якому властива максимальна дисперсія з усіх можливих графіків навантажень. Нижня межа відповідає практично рівномірному графіку. Верхня межа оцінки визначається з формули

$$K_{\phi.a.в}^2 = \frac{P_{ск.нб}^2}{P_c^2} = \frac{P_{\max}(P_c - P_{\min}) + P_c P_{\min}}{P_c^2}.$$

На основі апріорної інформації про діапазон зміни навантаження вибирають значення $K_{\phi.a}^2 = 1 \dots K_{\phi.a.в}^2$. У подальшому значення коефіцієнта форми уточнюється на основі опитування експертів щодо форми графіка навантаження. Для порівняння на цьому етапі рекомендовані плавно спадні графіки навантажень з великим (рис. 3,а) і малим (рис. 3,б) значеннями дисперсії.

Модель з більшою від середньої дисперсією (рис. 3,а) можна рекомендувати для оцінки втрат в елементах живлення окремих агрегатів, а модель з меншою дисперсією (рис. 3,б) – у спільних елементах живлення. Тут штриховими показано графіки із середнім значенням дисперсії.

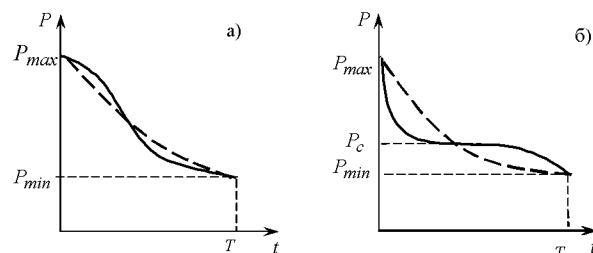


Рисунок 3 – Моделі графіків навантажень з великою та малою дисперсіями

На рис. 4 наведена упорядкована діаграма добового графіка навантаження відхідної лінії (Ф-45) Бершадських РЕМ, що живить ВАТ „Бершадський птахокомбінат”. З порівняння діаграми навантажень і моделей графіків навантажень (рис. 3) видно, що коефіцієнт форми вищий від середнього.

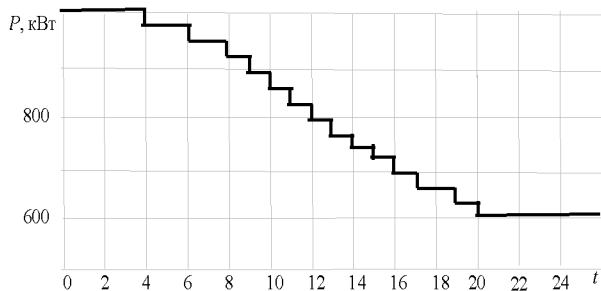


Рисунок 4 – Упорядкована діаграма активних навантажень Ф-45

Максимальне значення квадрата коефіцієнта форми $K_{\phi,a.s}^2 = 1,06$, середнє значення $K_{\phi,a.s}^2 = 1,03$. З використанням двомодальної функції бета-розподілу значення квадрата коефіцієнта форми $K_{\phi,a}^2 = 1,035$.

Висновки. Втрати електроенергії залежать основним чином від параметрів електроспоживання – середнього, максимального та мінімального навантажень, а також від нерівномірності графіка. Для врахування нерівномірності графіка навантаження під час теоретичних досліджень доцільно використовувати бета-розподіл або двомодальний бета-розподіл навантаження, а під час практичних досліджень – нечітко оцінювання з використанням спадних графіків, які характеризуються більшим і меншим відносно середнього значенням дисперсії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38 – 150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних втрат електроенергії (ГНД 34. 09. 104 – 2003). – К.: Міністерство палива та енергетики України, 2004. – 115 с.

2. Методика расчета потерь энергии в действующих распределительных сетях / Л. П. Анисимов, М. С. Левин, В. Г. Пекелис // Электричество. – 1975. – № 4. – С. 27–30.

3. Методика расчета нагрузочных потерь энергии в распределительных сетях / В.Г. Пекелис, Л.П. Анисимов // Электрические станции. – 1975. – № 7. – С. 51–54.

4. Казанцев В.Н. Методы расчета и пути снижения потерь энергии в электрических сетях. Учебное пособие. – Свердловск: Изд-во Уральского политехнического института им. С.М. Кирова, 1983. – 84 с.

5. Клебанов Л.Д. Вопросы методики определения и снижения потерь электрической энергии в сетях. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1973. – 70 с.

6. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах: Монографія / М.Й. Бурбело, Л.М. Мельничук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.

Стаття надійшла 01.09.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

М. Й. Бурбело, д.т.н., проф., Ю. П. Войтюк

Винницкий национальный технический университет

Хмельницкое шоссе, 95, 21021, м. Винница, Украина

E-mail: burbelo@energo.vstu.ua

Рассмотрены теоретические и практические вопросы определения потерь электроэнергии в распределительных сетях 10 кВ энергоснабжающих компаний. Проанализировано расчет квадрата коэффициента формы на основе универсальных графиков нагрузки. Рассмотрено моделирование годового графика по продолжительности с использованием бета-распределения нагрузки и нечеткого оценивания с использованием нисходящих графиков.

Ключевые слова: потери электрической энергии, распределительные электрические сети, функции распределения электрических нагрузок.

DETERMINATION OF LOSSES OF ELECTRIC POWER IS IN DISTRIBUTIVE NETWORKS OF ENERGYPROCUREMENT COMPANIES

M. Burbelo, Doc. Sc. (Tech.), Prof., Yu. Voutyk

Vinnitsa National Technical University

Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnitsa, Ukraine

E-mail: burbelo@energo.vstu.ua

Considered theoretical and practical issues in determining losses in electrical energy distribution networks 10 kV energy supply companies. Analyzed the calculation of a square form factor based on the universal load. Considered modeling the annual schedule for the duration of use of beta-load distribution and fuzzy evaluation using the drop-down graphs.

Key words: a source of jet capacity, losses of active capacity, electrical networks.