

3. Prakhovnik A.V. From the power consumption control to sustainable energy development // News of NTUU «KPI». Seriya "Girnistvo." - 2010. - №. 19.

УДК 621.314.212

И.В. ПРЫТЫСКАЧ

ВЫБОР СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ СЛУЧАЙНОМ НЕПЕРИОДИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В отличие от детерминированных моделей выбора, использование которых часто приводит к значительным погрешностям, стохастические модели выбора позволяют использовать модель более адекватную модель ЕН как случайный процесс, который может быть как периодическим, так и непериодическим. В работе приведена методика выбора силовых масляных трансформаторов по критериям допустимого их нагрева и износа изоляции на основе термической модели согласно МГОСТ14209-97 с использованием статистических характеристик электрической нагрузки как непериодической случайного процесса. Для этого выполнялось имитационное моделирование температур масла и ННТ обмотки трансформатора, а также относительного износа его изоляции, с получением их статистических характеристик, прежде всего, детерминированных функций квантилей по соответствующим вероятностям. Также проведено сравнение данного подхода с выбором, при котором нагрузка рассматривается как стационарного случайный процесс.

Ключевые слова: системы электроснабжения, электрическая нагрузка, трансформатор, стохастическая модель, термическая модель.

УДК 621.316.1

О.В. СКАЧОК

АКТУАЛЬНІСТЬ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НЕРІВНОМІРНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Зроблений загальний аналіз стану енергетики України. Проведений порівняльний аналіз методів оцінки нерівномірності електроспоживання класичного та сучасного підходів. Виявлені ряд недоліків в критерії рівномірності графіку електричного навантаження вище наведених підходів. Зроблені відповідні висновки.

Ключові слова: електропостачання, графік електричного навантаження, критерій рівномірності.

Вступ. Добовий графік електричного навантаження (ГЕН) об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України має характерну нерівномірність у часі (рисунок 1), що поділяється на три частини: зони піку, напівпіку та провалу [6].



Рис. 1. Типовий добовий графік навантаження енергосистеми України

Наведена нерівномірність ГЕН енергосистеми ускладнює забезпечення балансу попиту і пропозиції на електроенергію у вузлах її споживання та недопущення зміни частоти мережі змінного струму і

розрахункового рівня напруги (тобто недопущення переходу енергосистеми до аварійного стану). Крім того, через технологічні вимоги генеруючих станцій не можливо оперативно та оптимально чітко забезпечити покриття ГЕН енергосистеми у кожній її точці доби. Це призводить до значних втрат на використання природних ресурсів при генерації електричної енергії.

Постає дуже важливе питання оптимального управління ГЕН енергосистеми з метою його вирівнювання у добовому, тижневому або іншому інтервалі часу.

Сучасний стан питання. Як вже говорилося раніше, графік навантаження енергосистеми являє собою суму безлічі графіків навантаження споживачів, отже, вирівняти його можна тільки за допомогою споживачів-регуляторів, які здатні до обмеження або перенесення частини своєї електричного навантаження з одних годин доби на інші (при добовому регулюванні) [11].

Пріоритетною областю з точки зору зміни режиму роботи споживачів електроенергії є промисловість [5]. У ній можна досягнути максимального ефекту при мінімальних витратах і зусиллях.

Це обумовлено низкою причин:

- по-перше, вона є найбільш потужним споживачем енергії;

За 2012 рік обсяг споживання (нетто) електричної енергії ОЕС України склав 147,5 млрд кВт·г [12]. Основними споживачами електроенергії в розрізі категорій є: промисловість 81,9 млрд кВт·г (55,5 %), населення 37,7 млрд кВт·г (25,6 %), комунально-побутове господарство 24,5 млрд кВт·г (16,6 %) та сільське господарство 3,4 млрд кВт·г (2,3 %). Тобто більше половини обсягу споживання електричної енергії ОЕС України складає промисловість.

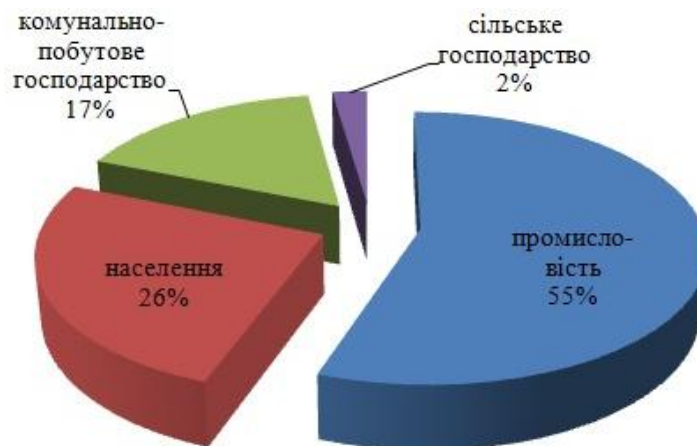


Рис. 2. Діаграма споживання електроенергії в Україні за категоріями промисловості

- по-друге, споживання енергії обмежене відносно невеликою кількістю споживачів.

Кількість споживачів електричної енергії промислової групи, станом на 01.01.2011 становила 48,7 тис. шт.

Загальна чисельність побутових споживачів електричної енергії в Україні станом на 01.01.2011 становила 18 719 тис. шт. [13].

Таким чином, при кількості споживачів електричної енергії промислової групи, що майже в 400 раз менше ніж чисельність побутових споживачів електричної енергії, загальний об'єм споживання електроенергії промислової групи перевищує об'єм споживання електроенергії населення більше ніж в 2 рази.

Ефективно здійснити процес управління навантаженням можливо лише на основі досконалих моделей добового електроспоживання, які б давали критерій оцінювання нерівномірності графіка навантаження підприємства з точки зору впливу цього графіку на енергосистему в цілому.

Метою роботи є аналіз існуючих методів оцінки нерівномірності графіку навантаження підприємства з точки зору впливу цього графіку на енергосистему в цілому.

Викладення основного матеріалу. Показники нерівномірності ГЕН та методи його вирівнювання викладені у роботах В.И. Гордєєва, А.А. Федорова, Э.М. Ристхейна, А.А. Ермилова, С.Д. Волобринского [1, 2, 3, 4]

Ці вчені були засновниками класичної теорії оцінювання ГЕН, згідно якої для оцінки нерівномірності споживання вводились низка коефіцієнтів:

Середнє значення навантаження (середня потужність). Як правило, для індивідуальних графіків середнє значення визначають за час циклу t_y ($t_{y,c}$) за формулою:

$$p_c = \frac{1}{t_y} \int_0^{t_y} p(t) dt \quad (1)$$

Середньоквадратичне навантаження:

$$p_{ck} = \sqrt{\frac{1}{t_y} \int_0^{t_y} p^2(t) dt} \quad (2)$$

Дисперсія і середньоквадратичне відхилення (стандарт) графіка навантаження. Одним з показників нерівномірності графіка навантаження є його дисперсія, яка обчислюється за формулою:

$$Dp = p_{ck}^2 - p_c^2 \quad (3)$$

Вочевидь, що $Dp \geq 0$ ($Dp = 0$, якщо $p(t) = p = const$, тобто при постійному навантаженні або «рівному графіку»).

Середньоквадратичне відхилення, яке називається також стандартом, визначається так:

$$\sigma p = \sqrt{Dp} \quad (4)$$

Коефіцієнт форми графіка навантаження:

$$k_\phi = \frac{p_{ck}}{p_c} \quad (5)$$

Вочевидь, що $k_\phi \geq 1$, і своє найменше значення він набуває при $p_{ck} = p_c$, тобто при $p(t) = p = const$.

Коефіцієнт максимуму рівного відношенню півгодинного (годинного) максимуму навантаження до середнього значення графіка:

$$k_M = \frac{P_{\max}}{P_c} \quad (6)$$

Вочевидь, за виключенням випадку $p(t) = const$, $k_M > 1$.

Коефіцієнт заповнення графіка навантаження рівний відношенню його середнього значення до максимального:

$$k_3 = \frac{P_c}{P_{\max}} \quad (7)$$

Коефіцієнт нерівномірності дорівнює відношенню мінімального значення навантаження до максимального:

$$k_H = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \quad (8)$$

Також вводились поняття середнього, середньоквадратичного значення групового графіку, його дисперсії.

При цьому вирішення задачі управління ГЕН згідно класичної теорії полягає в забезпеченні здвигів t_{rs} між моментами включення електроприймачів таким чином, щоб величина дисперсії групового ГЕН підприємства прямувала до нуля.

Даний підхід до управління ГЕН дозволить вирівнювати енергоспоживання на рівні підприємства. Проте маючи нерівномірність ГЕН енергосистеми описану на початку статті вирівнювання енергоспоживання на рівні підприємства у більшості випадків призведе до ще більшої нерівномірності споживання електроенергії на рівні ОЕС України.

Тому, описані вище коефіцієнти та даний підхід до управління ГЕН має суто теоретичне застосування на рівні підприємства, але аж ні як не практичне.

Останнім часом було запропоновано новий підхід до оцінювання нерівномірності ГЕН підприємства, який описується у роботах О.Д. Демова, Т.І. Коенди та Н.В. Коенди [8, 9, 10].

Даний підхід трансформує ГЕН з класичної форми в діаграму радарного типу (ДРТ) та використовує при цьому нові, так звані, морфологічні показники оцінки нерівномірності ГЕН:

- Компактність (compactness) визначається як відношення між площею ДРТ і її периметром:

$$compactness = \frac{4\pi S}{\Pi^2}, \tag{9}$$

де Π - периметр ДРТ; S - площа ДРТ.

Порівняння величин $compactness$ та σ, K_ϕ з точки зору оцінки добової нерівномірності ГЕН наведено на рис. 3.

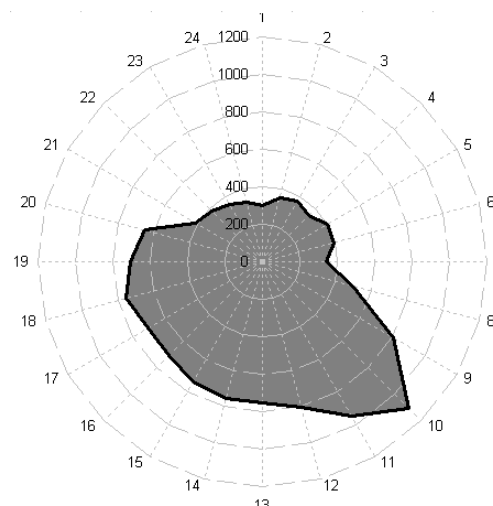
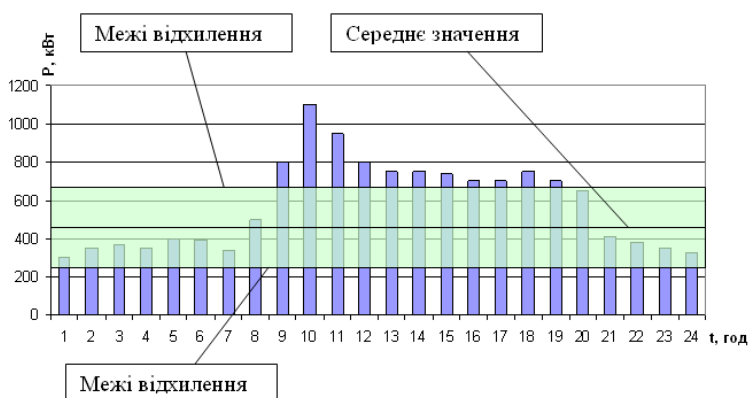


Рис. 3. – Порівняння $compactness$ та σ, K_ϕ

- **Видовження** (elongation) визначається як відношення між довжиною перпендикуляра до головної осі діаграми (L_2) та довжиною головної вісі діаграми (L_1), рис. 4. Головна вісь визначається як найдовша вісь, що проходить через центр ваги ДРТ:

$$elongation = \frac{L_2}{L_1} \tag{10}$$

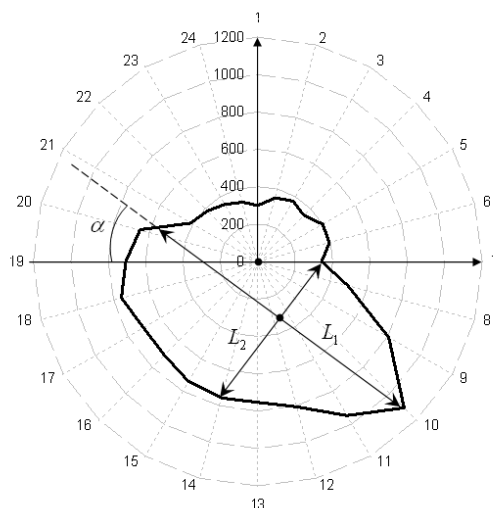
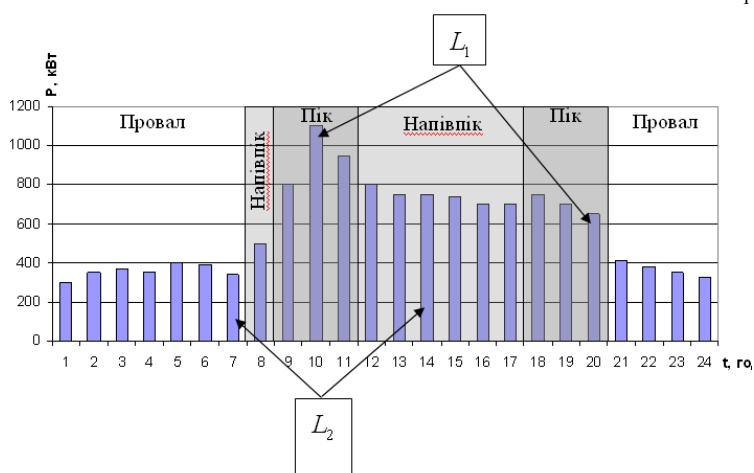


Рис. 4. Видовження ДРТ

- **Випуклість** (convexity) обчислюється як відношення між площею випуклого корпусу S_g і площею ДРТ S . Прикладом випуклого корпусу може служити натягнута «гумова стрічка» навколо об'єкту, рис. 5:

$$convexity = \frac{S_g}{S} \tag{11}$$

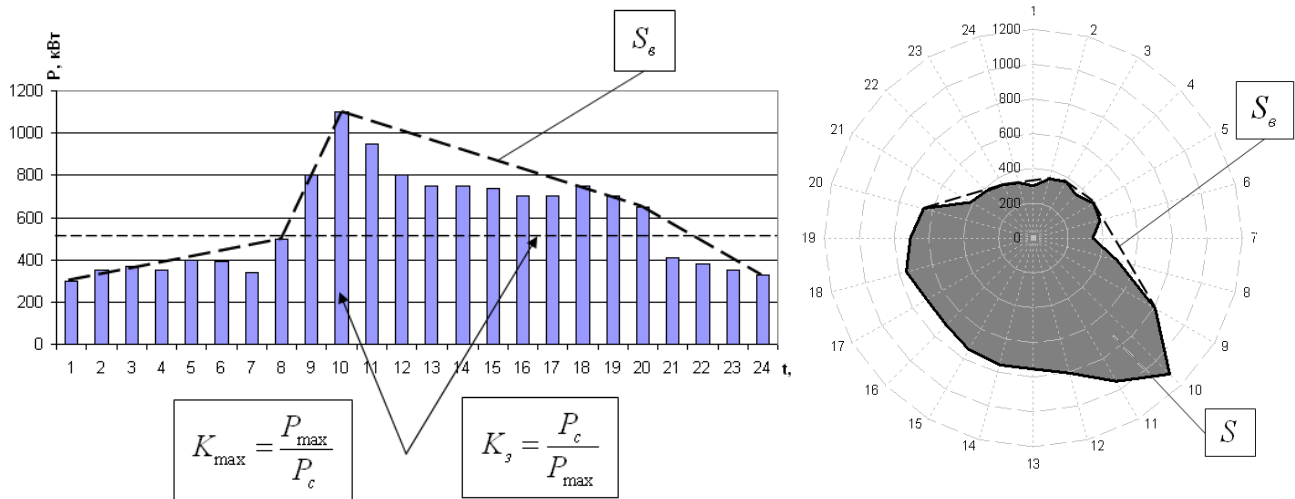


Рис. 5. Порівняння *convexity* та K_{\max}, K_c

Таким чином у роботах О.Д. Демова, Т.І. Коенди та Н.В. Коенди зроблено комплексний аналіз між показниками нерівномірності ГЕН класичної теорії та морфометричними коефіцієнтами оцінки ГЕН який показав, що використання морфопараметрів дає можливість отримати значно детальнішу оцінку нерівномірності добового ГЕН.

Проте, разом з цим, морфометричний критерій рівномірності ГЕН виглядає наступним чином:

$$F = \begin{cases} compactness = \frac{4\pi S}{\Pi^2} \\ elongation = \frac{L_2}{L_1} \\ convexity = \frac{S_b}{S} \end{cases} \rightarrow 1, \tag{12}$$

$$compactness, elongation, convexity \in [0, 1]$$

Тобто, даний підхід вимагає від кожного з морфометричних параметрів прямування до одиниці, а відповідно, добовий ГЕН підприємства автоматично буде перетворюватись на абсолютно рівномірну у часі пряму (або правильний 24-х кутник при трансформуванні ГЕН у ДРТ).

Фактично, морфометричний критерій рівномірності ГЕН ні чим не відрізняється від класичного підходу до вирівнювання ГЕН, і як наслідок може бути використаний на рівні підприємства також суто теоретично.

Не використання у практичному вигляді вище вказаних підходів до вирівнювання ГЕН на підприємстві має декілька причин.

По-перше, маючи задану нерівномірність ГЕН енергосистеми, обумовлену природними потребами побутового сектору споживачів електроенергії, вирівнювання енергоспоживання на рівні підприємства, у більшості випадків, призведе до ще більшої нерівномірності споживання електроенергії на рівні ОЕС України.

По-друге, підприємство повинно бути економічно зацікавлено у регулюванні свого ГЕН. Проте аналіз існуючих на сьогодні тарифів [7] на електроенергію за зонами доби показує, що ціна на електроенергію не залежить від рівномірності або нерівномірності її споживання, а залежить, в першу чергу, від часу споживання у добовому періоді (тобто тарифи на електроенергію в часи провалів значно дешевші за пікові). Таким чином, існуюча на теперішній час система тарифів на електроенергію в Україні стимулює промислові підприємства до нерівномірного споживання електроенергії у добовому інтервалі часу.

Висновки:

1. Проведений аналіз показує, що використання існуючих на сьогодні теорій оцінки нерівномірності ГЕН на рівні підприємств буде економічно не вигідними для самих підприємств з одного

боку, та призводити до ще більшої нерівномірності енергоспоживання на рівні енергосистеми України з іншого.

2. Такий сектор споживачів електроенергії як промисловість, за допомогою якого можна найбільш ефективно управляти ГЕН енергосистеми, на сьогоднішній день не має практичної у застосуванні методології для оцінки нерівномірності ГЕН а також підходів до його управління на рівні підприємств.

3. Дуже актуальною постає задача адаптації існуючих методів оцінки нерівномірності ГЕН а також критеріїв його рівномірності та/або створення принципово нових підходів які б мали місце практичного застосування на рівні промислових підприємств.

Література:

1. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.: (Экономия топлива и электроэнергии).
2. Федоров А.А., Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных предприятий.: Учебник для ВУЗов. – М.: Энергия, 1981. – 360 с.
3. Ермилова А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
4. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. Л., «Энергия», 1976. 128 с.
5. Праховник А.В. Управління енерговикористанням: проблеми, завдання та методи вирішення // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під загальною редакцією, д.т.н., проф. А.В.Праховника. - К.: Альянс за збереження енергії, 2001. - С.169-190.
6. Маляренко В. А., Нечмоглод І. Є., Колотіло І. Д.. Нерівномірність графіку навантаження енергосистеми та способи його вирівнювання // Електроенергетика. – 2011.
7. Забелло Е. П. Тарифы и тарифные системы на электрическую энергию как способ косвенного управления электрическими нагрузками // Энергоэффективность. – 2000.
8. Морфометрична оцінка графіка електричних навантажень / О.Д. Демов, Н.В. Коменда, Т.І. Коменда // Промелектро. – 2008.
9. Морфометрія графіка електричних навантажень / О.Д. Демов, Н.В. Коменда, Т.І. Коменда // Енергетика та електрифікація. – 2009.
10. Морфометрична оцінка та критерій рівномірності графіка електричних навантажень / Н.В. Коменда // Луцький національний технічний університет. – 2010.
11. http://www.energetika.by/arch/~page__m21=10~news__m21=169. Вирівнювання графіка електричного навантаження енергосистеми.
12. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. Енергетика України.
13. <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>. Структура споживання електричної енергії по Україні

О. SKACHOK

URGENCY OF CREATION MODERN METHODS OF ASSESSMENT INEQUALITY ENERGY CONSUMPTION INDUSTRIAL ENTERPRISES

Made a general analysis of the energy system of Ukraine. The comparative analysis of methods for assessing the uneven energy consumption classic and modern approach. Identified a number of deficiencies in the criteria of uniformity of electric load graph above mentioned approaches. Made under the conclusions.

Keywords: electricity, electrical load schedule, the criterion of uniformity.

УДК 621.316.1

А. SKACHOK

АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Сделан общий анализ энергетики Украины. Проведен сравнительный анализ методов оценки неравномерности электропотребления классического и современного подходов. Выявленные ряд недостатков в критерии равномерности графика электрической нагрузки выше приведенных подходов. Сделанные соответствующие выводы.

Ключевые слова: электроснабжение, график электрической нагрузки, критерий равномерности.