

Використання типових графіків електричних навантажень для підвищення спостережності розподільної електричної мережі.

¹ Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація: В роботі показано можливі варіанти отримання даних про електроспоживання. Запропоновано варіанти переведення даних з білінгової системи, для спрощення застосування типових графіків навантаження.

Ключові слова: типовий графік навантаження, енергосистема, споживання електроенергії.

Abstract: The paper shows possible options for obtaining data on power consumption. Variants of data transfer from the billing system are proposed to simplify the use of typical load schedules.

Keywords: typical schedule of load, energy system, electricity consumption.

Вступ

Типовий графік навантаження – усереднений за часом та набором електроприймачів графік навантаження, аналогічних за режимом роботи споживачів. Навантаження типового графіка, як правило, нормується відносно максимальної величини і надається у відсотках. Традиційно ТГН використовувались під час електричних розрахунків для складання балансу потужності, проектування електричних мереж, а також при розрахунках технологічних витрат електроенергії на її передачу та розподіл електричними мережами. На сьогодні в умовах балансуючого ринку електроенергії і електропостачання за двосторонніми договорами при плануванні режимів ЕЕС на наступну добу ТГН мають суттєве значення. Відповідальність за баланс електроенергії в ЕЕС і його підтримування перекладається на всіх учасників щодо складання добових графіків споживання електричної енергії, енергоефективності генерування та споживання електроенергії.

При формуванні нових економічних відносин на ринку електроенергії споживання розраховується по годинах, оскільки ціна на електроенергію змінюється кожну годину. Від точності прогнозування погодинного добового графіка споживання електроенергії електропостачальниками залежить, наскільки тарифний план для споживача буде привабливим.

1. Використання типового графіка навантаження для отримання погодинної інформації про споживання електроенергії

Однією з функцій оператора системи розподілу є розроблення типових графіків (профілів) навантаження для окремих категорій споживачів. Вихідною інформацією для аналізу та групування графіків електричних навантажень використовувалися масиви даних, які архівовані під час роботи АСКОЕ. При цьому для кожного ПГН визначався код споживача – джерела цього ПГН згідно КВЕД-2010, що в подальшому має спростити користування розробленими графіками навантажень і дозволить відносити даного споживача до того чи іншого ТГН [2].

Оператори системи передачі та розподілу електроенергії можуть збирати щогодинні дані про електроспоживання двома шляхами: за допомогою погодинного лічильника з дистанційним зчитуванням та на підставі типового графіка навантаження.

Типові графіки подаються у вигляді коефіцієнту форми, погодинних характеристик математичного очікування та середньоквадратичного відхилення активного й реактивного навантажень, а також характеристики коефіцієнту кореляції активного й реактивного навантажень (рис. 1).

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Таблиця А.1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Графік електричних навантажень споживачів наступних категорій видів економічної діяльності | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | «01.45» «14.11» «10.42» «32.11» «30.40» «10.31» «02» «16.2» «25.93» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | «30.92» «03.12» «22» «11.05» «24.42» | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Місяць - січень Коефіцієнт форми - 1.07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | P | 39 | 48 | 42 | 55 | 31 | 54 | 49 | 58 | 88 | 59 | 72 | 83 | 71 | 79 | 57 | 59 | 100 | 77 |
| 8 | σ_P | 17 | 17 | 16 | 15 | 13 | 14 | 14 | 17 | 26 | 31 | 31 | 33 | 24 | 28 | 30 | 30 | 32 | 22 |
| 9 | Q | 12 | 18 | 11 | 19 | 10 | 20 | 19 | 23 | 26 | 20 | 23 | 24 | 16 | 23 | 19 | 17 | 28 | 22 |
| 10 | σ_Q | 7 | 7 | 6 | 6 | 4 | 5 | 6 | 11 | 13 | 20 | 19 | 19 | 10 | 15 | 19 | 18 | 18 | 10 |
| 11 | K | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 1 – Інформація подана у «Альбомі типових графіків електричних навантажень»

2. Застосування методу зворотнього інтегрування для переведення інформації з білінгової системи у псевдовимірювання

Математичне очікування навантаження нормується відносно максимального значення і подається у відсотках. Таким чином, ТГН дає змогу розкласти значення сумарної спожитої енергії за обліковий період до вигляду погодинного графіка імовірного навантаження, наповнюючи вектор вимірювань для задачі оцінки стану розподільної електричної мережі псевдовимірюваннями [4]:

$$J_{ij}^{TGH}(x) = \frac{[z_{ij}^{TGH} - h_i(x)]^2}{[\sigma_{ij}^{TGH}]^2} = [z^{TGH} - h(x)]^T W [z^{TGH} - h(x)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $z_{ij}^{TGH} = M(P_{ij}^{TGH}) \cdot P_i^{\max}$ – псевдовимірювання отримане на основі інформації про КВЕД та відповідний йому ТГН i -го споживача;

$$W = \text{diag} \left[\left(\sigma^{TGH} \right)^2 \right]^{-1} \text{ – зворотні середньоквадратичні відхилення.}$$

У якості очікуваних середньоквадратичних відхилень псевдовимірювання σ_{ij}^{TGH} для неспостережних вузлів пропонується використовувати значення середньоквадратичних відхилень для активної та реактивної потужностей σ , наведені у атласі типових графіків навантаження для споживача (див. рис.1), згідно його коду КВЕД [1].

Оскільки інформація у білінговій системі подається у інтегрованому вигляді за певні періоди часу, а інформація про ТГН нормується відповідно максимального спожитого значення потужності P_i^{\max} , то одним із шляхів перетворення інформації із білінгової системи у псевдовимірювання, яке відповідає окремому ступеню графіку навантаження буде процедура зворотнього інтегрування [2].

Так як ТГН позитивна і зростаюча функція, то інтеграл ТГН виражає площу ступінчастої фігури, складеної з «вхідних» прямокутників або лівих прямокутників. Тому вираз для розрахунку максимального спожитого значення потужності можна отримати з використанням методу чисельного інтегрування на інтервалі від a до b для n інтервалів. Оскільки для кожного інтервалу інтегрування крок сітки однаковий, то вираз для визначення максимального спожитого значення потужності P_i^{\max} запишеться так [3]:

$$W_i^B = \int_a^b f(x) dx = \frac{b-a}{n} \sum_{j=1}^n M(P_{ij}^{TGH}) \cdot P_i^{\max} \Rightarrow P_i^{\max} = \frac{W_i^B}{\frac{b-a}{n} \sum_{j=1}^n M(P_{ij}^{TGH})},$$

де W_i^B – інформація із білінгової системи про спожиту електроенергію за розрахунковий

період.

Для добового інтервалу $[0;24]$ з поділом проміжку інтегрування $n=24$ рівних частин:

$$P_i^{\max} = \frac{W_i^B}{\frac{24-0}{24} \sum_{j=1}^{24} M(P_{ij}^{TGH})} = \frac{W_i^B}{\sum_{j=1}^{24} M(P_{ij}^{TGH})} \quad (2)$$

Ще однією проблемою перетворення інформації із білінгової системи у псевдовимірювання є необхідність узгодження ТГН окремих КВЕД однієї ТП. Це можливе лише за значеннями у абсолютних одиницях шляхом інтегрування відтворених ТГН за виразом:

$$z_{ij}^{TGH} \text{ рез} = \sum_i^N (M(P_{ij}^{TGH}) \cdot P_i^{\max})$$

Введемо позначення:

$$k_i^{КВЕД} = P_i^{\max} / P_n^{\max}$$

Тоді вираз для визначення узгодженого графіка електричних навантажень прийме вигляд:

$$z_{ij}^{TGH} \text{ рез} = \left[\sum_{i=1}^N (M(P_{ij}^{TGH}) \cdot k_i^{КВЕД}) \right] \cdot P_n^{\max}$$

де P_n^{\max} – максимальне значення потужності серед всіх споживачів з переліку N ТП;

n – номер споживача з максимальним піковим значенням електроспоживання

Для узгодження ТГН з однаковим, або близьким, коефіцієнтом форми наведеним у «Альбомі типових графіків електричних навантажень» можна використати припущення:

$$k_i^{КВЕД} = \frac{P_i^{\max}}{P_n^{\max}} \approx \frac{W_i^B}{W_n^{B \max}}$$

де $W_n^{B \max}$ – максимальне значення спожитої електроенергії серед всіх споживачів з переліку N ТП.

Отже, цільова функція з урахуванням інформації ТГН у явному вигляді може бути записана таким чином:

$$J(x) = \left[\begin{bmatrix} z^{SM} \\ z^{TGH} \end{bmatrix} - h(x) \right]^T \text{diag} \left[(\sigma^{SM})^2 \quad (\sigma^{TGH})^2 \right]^{-1} \left[\begin{bmatrix} z^{SM} \\ z^{TGH} \end{bmatrix} - h(x) \right] \rightarrow \min, \quad (3)$$

Таким чином недостатність вектору спостереження \mathbf{z} у цільовій функції можна компенсувати інформацією з «Альбому типових графіків електричних навантажень», а саме математичним очікуванням активного навантаження $M(P_{ij}^{TGH})$ i -го вузла вимірювання на ступені j , його середньоквадратичним відхиленням σ_i^{TGH} та інформації про спожиту потужність у неспостережному вузлі з білінгової системи W_i^B у вигляді цільової функції (3).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Буславець О.А. Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні / О. А. Буславець, А. О. Квицинський, Л. Н. Кудачький, С. Я. Меженний, Л. В. Мойсеєнко // Енергетика та електрифікація.– 2016.– № 2. – С. 2–12.
- [2] Інформаційне забезпечення задач зменшення втрат електроенергії в електричних мережах: монографія / О. А. Буславець, П. Д. Лежнюк, М. М. Черемісін – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 195 с.

Кулик Володимир Володимирович – д.т.н., професор каф. ЕСС Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

Бурикін Олександр Борисович – к.т.н., доцент каф. ЕСС Вінницького національного технічного університету, Вінниця e-mail: mr.burykin@gmail.com

Гриник Владислав Анатолійович – асп. гр 141-20а, каф. ЕСС Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: vladgreen14@gmail.com

Kulyk Volodymyr V. – Dr. Sc., Professor of Power plants and electrical system, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

Burykin Oleksandr B. – Cand. Sc., Assistant Professor of Power plants and electrical system, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: mr.burykin@gmail.com

Hrynyk Vladyslav A. – graduate student gr. 141-20a of Power plants and electrical system, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: vladgreen14@gmail.com