

УДК 338:621.31(075)

В. О. Милосердов, к. е. н., доц.;

Н. І. Яринчак, студ.

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВИРІВНЮВАННЯ ГРУПОВОГО ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*Проаналізовано деякі математичні моделі вирівнювання групового графіка електричного навантаження. На основі застосування автоматизованих методів розрахунку на ПЕОМ показано потенціальні можливості щодо оптимізації графіка електричного навантаження. Подано числовий приклад, який демонструє ефективність такого підходу.*

### Вступ та постановка задачі

Важливим напрямком удосконалення організації електроспоживання є дослідження і розробка способів зниження пікових навантажень енергосистеми шляхом регулювання добового графіка навантажень підприємств. Коло цих питань протягом тривалого часу знаходиться в центрі досліджень багатьох відомих вітчизняних і іноземних вчених. Ця проблема завжди буде актуальною у питанні удосконалення організації електроспоживання. Намагання оптимізувати і узгодити процес електроспоживання з процесом виробництва електроенергії відображається в різних тарифах на електроенергію. В кожному з цих видів тарифів присутня спрямованість на використання економічних важелів примусу підприємств-споживачів електроенергії впроваджувати заходи вирівнювання графіка електричного навантаження.

### Основний розділ

Для електричних мереж промислових підприємств класичним підходом до вирівнювання графіка навантаження є пошук зсувів між моментами включення електроприймачів, які приводили б до мінімуму дисперсії групового графіка навантаження у відповідності з моделлю [1—3]

$$DP(t_{rs}) = \sum_{r=1}^n Dp_r + 2 \sum_{r \neq s} kp_{rs}(t_{rs}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Еквівалентною моделі (1) є також така модель:

$$D_K(t_{rs}) = 2 \sum_{r \neq s} kp_{rs}(t_{rs}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $DP$  — дисперсія групового графіка навантаження  $P(t) = \sum_{r=1}^n p_r(t)$  мережі, яка живить  $n$  електроприймачів з графіками  $p_r(t)$ ,  $r = 1, 2, \dots$ ;  $kp_{rs}(t_{rs})$  — взаємкореляційні моменти графіків навантаження  $r$ -го і  $s$ -го електроприймачів;  $t_{rs}$  — зсув в часі між графіками  $p_r(t)$  і  $p_s(t)$ , тобто інтервал між моментами включення  $r$ -го і  $s$ -го електроприймачів.

Зазвичай задачу (1) або (2) пропонується вирішувати як задачу безумовного пошуку екстремуму, тобто за відсутності можливих обмежень технологічного, економічного, організаційного та іншого характеру [1—3]. Разом з тим, крім вищенаведеного критерію, для досягнення сформульованої цілі можливим є застосування і інших критеріїв:

— мінімум експлуатаційних витрат виробництва;

— мінімум максимуму електричного навантаження на певному інтервалі часу (доба, зміна, інший проміжок часу);

— мінімум сумарного часу відхилень від природного ходу технологічних процесів, які залучаються до регулювання добового графіка і т. д.

Застосування цих критеріїв може бути пов'язано з урахуванням цілої низки обмежень. Наведемо деякі з них:

— граничні (іноді двосторонні) обмеження на значення функцій, які вказані вище у якості критеріальних співвідношень;

— особливі вимоги щодо глибини і тривалості регулювання графіка навантаження;

— необхідність урахування (додавання) в середині добового інтервалу часу всіх або деяких технологічних процесів, які приймають участь у формуванні графіка навантаження;

— збереження послідовності в часі деяких технологічних процесів, (наприклад, технологічний процес з номером  $i$  не може бути включений в роботу раніше, ніж технологічний процес з номером  $i + 1$ ;

— неможливість зсуву вліво за шкалою часу деяких технологічних процесів; наступна технологічна кампанія може розпочатися тільки через деякий час після закінчення попередньої.

В якості керованих змінних для оптимізації добового графіка можуть використовуватись:

- час вступу в роботу  $i$ -го технологічного процесу, визначеного на добовому інтервалі часу;
- інтенсивність споживання активної потужності (струму) деякими технологічними процесами, якщо характер технології дозволяє використовувати цей важіль для регулювання графіка;
- одночасне використання вищенаведених керованих змінних.

Внаслідок комбінування наведених вище критеріальних функцій, обмежень і керованих змінних у відповідності до основної цілі, можна синтезувати достатньо велику множину екстремальних математичних моделей оптимізації добових графіків електричних навантажень. Створення універсальних моделей є неможливим оскільки специфіка і особливості роботи будь-якого підприємства завжди мають значні відмінності. Тому актуальним є розробка математичних моделей вирівнювання групового графіка електричних навантажень для підприємств різних галузей виробництва. Застосування сучасної обчислювальної техніки і програмного забезпечення дозволило інтенсифікувати дослідження в напрямку вдосконалення організації електроспоживання.

Один із можливих підходів до оптимізації графіка електричних навантажень передбачає попереднє створення бази даних добового споживання активної потужності на підприємстві в рамках системи управління базами даних (СУБД) і в подальшому в застосуванні індивідуально розроблених машинних програм.

На основі створеної бази даних (табл. 1) може здійснюватись аналіз добового графіка споживання потужності, тобто з'ясування основних параметрів графіка з метою визначення необхідності раціонального регулювання. Серед основних параметрів графіка виділимо такі:

- середня інтенсивність споживання потужності (математичне очікування),  $MP$ ;
- дисперсія інтенсивності споживання потужності,  $DP$ ;
- добовий максимум потужності,  $P_{\max}$ ;
- час, який відповідає максимуму добової потужності,  $t_{\max}$ ;
- добовий мінімум потужності,  $P_{\min}$ ;
- час, який відповідає мінімуму добової потужності,  $t_{\min}$ .

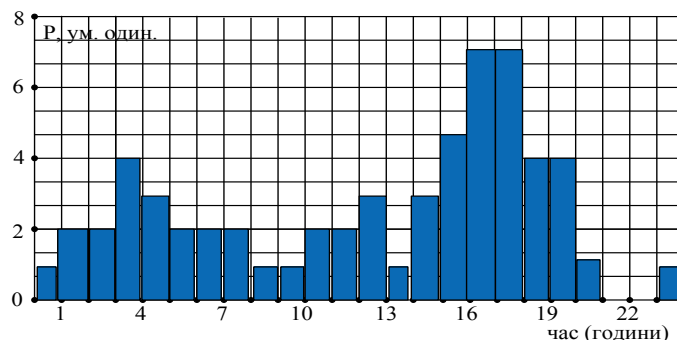


Рис. 1. Вихідний графік добового навантаження

Погодинні значення даних про добові навантаження

STUNDE	PSTUNDE	STUNDE	PSTUNDE
1	1,000	13	3,000
2	2,000	14	1,000
3	3,000	15	3,000
4	4,000	16	4,667
5	3,000	17	7,000
6	2,000	18	7,000
7	2,000	19	4,000
8	2,000	20	4,000
9	1,000	21	1,333
10	1,000	22	0,000
11	2,000	23	0,000
12	2,000	24	1,000

Таким чином, оцінювання основних параметрів графіка електричних навантажень (табл. 2) може сформулювати судження про необхідність або доцільність проведення будь-яких регулювальних заходів, пов'язаних з часом у відповідності до власних пріоритетів.

Таблиця 2

Аналіз добового графіка навантажень

Години доби	$MP$	$DP$	$P_{max}$	$t_{max}$	$P_{min}$	$t_{min}$
0...24	2,5	1,612	7,000	17	0,000	22
0...08	2,25	0,593	4,000	4	1,000	1
9...16	2,208	1,470	4,666	16	1,000	9
17...24	3,041	1,958	7,000	17	0,000	22

З табл. 2 бачимо, що має місце значна нерівномірність споживання активної потужності протягом доби. Максимальне значення потужності в добовому графіку приблизно в три рази перевищує її середнє значення. Добовий максимум графіка знаходиться на початку третьої зміни. Все вищесказане приводить до висновку про доцільність проведення регулювальних заходів з метою вирівнювання графіка електричних навантажень.

В якості прикладу оптимізації добового графіка навантажень розглянемо математичну модель, а також відповідні результати розрахунків, які отримані за допомогою програми GRAFIK [4] та системного інтерфейсу FOXPRO.

$$\begin{cases} P_{max}(t) \rightarrow \min; \\ t > t_{max}; \\ P(t) < P_{max}; \\ t \leq 24. \end{cases} \quad (3)$$

Результати розрахунків наведені в табл. 3 і рис. 2.

Таблиця 3

Погодинні значення даних про добові навантаження у відповідності з оптимізацією по моделі 3

STUNDE	PSTUNDE	STUNDE	PSTUNDE
1	1,000	13	3,000
2	2,000	14	1,000
3	2,000	15	1,000
4	4,000	16	3,000
5	3,000	17	3,000
6	2,000	18	3,000
7	2,000	19	3,967
8	2,000	20	4,000
9	1,000	21	4,967
10	1,000	22	4,000
11	2,000	23	2,033
12	2,000	24	3,000

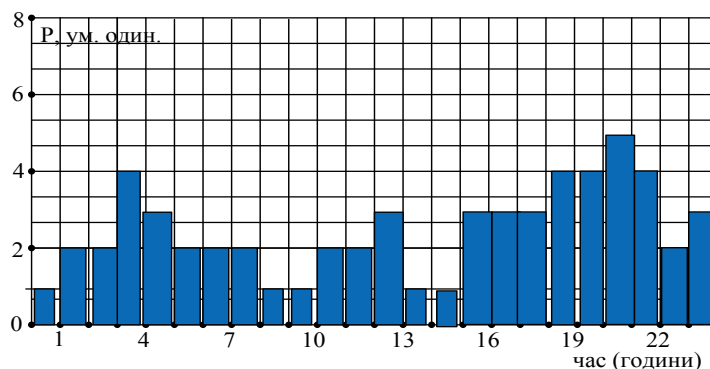


Рис. 2. Графік добового навантаження після оптимізації

Таблиця 4

**Аналіз добового графіка навантажень після оптимізації**

Години доби	<i>MP</i>	<i>DP</i>	$P_{max}$	$t_{max}$	$P_{min}$	$t_{min}$
0...24	2,5	1,124	4,967	21	1,000	1
0...08	2,25	0,593	4,000	4	1,000	1
9...16	1,750	0,351	3,000	13	1,000	9
17...24	3,495	0,391	4,967	21	2,033	23

Із порівняльного оцінювання даних табл. 2 і табл. 4 можна побачити, що має місце значне вирівнювання потужності (зменшення дисперсії від 1,612 до 1,124). Співвідношення між максимальним навантаженням та середнім значенням зменшилось в 1,5 рази, тобто покращився коефіцієнт заповнення графіка. Можна знайти і інші позитивні результати, які були отримані лише за п'ять ітерацій, в яких випадковим чином здійснювався пошук оптимального співвідношення навантажень за рахунок посування вправо по шкалі часу деяких навантажень.

Програма GRAFIK [4] базується на використанні засобів імітаційного моделювання. Складнішими є математичні моделі які базуються на застосуванні методів математичного програмування. Ці моделі потребують аналітичного дослідження та встановлення функціональних залежностей для індивідуальних графіків окремих споживачів електроенергії, які, в свою чергу, будуть формувати груповий графік.

Для прикладу наведемо математичну модель планування черговості підключення потужних електричних печей графітації, яка спрямована на вирівнювання графіка електричних навантажень

$$\begin{cases} DP(t_{nmk}) = \frac{1}{d} \sum_d \left[ \sum_n \sum_m \sum_k P_d(t_{nmk}) - MP(t_{nmk}) \right]^2 \rightarrow \min; \\ t_{nmk} + \tau_m \leq T; \\ t_{nm,k+1} - (t_{nmk} + \tau_m) \geq t_n; \\ t_{nmk} \geq 0, \end{cases} \quad (4)$$

де  $D$  — символ дисперсії;  $D$  — множина півгодинних максимумів (що контролюється) електричних навантажень підприємства в години максимуму енергосистеми 1, 2, ...,  $d \in D$ ;  $N$  — множина електропічних установок, 1, 2, ...,  $n \in N$ ;  $K$  — множина циклів виробництва  $m$ -го виду продукції,  $k_1, k_2, \dots, k_m \in K$ ;  $\tau_m$  — множина тривалості циклу,  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m \in \tau_m$ ;  $P(\tau_m)$  — функції активних потужностей, що споживаються множиною електропічних установок для  $m$ -ї продукції,  $P(\tau_1), P(\tau_2), \dots, P(\tau_m)$ , МВт;

$t_n$  — тривалість переходу  $n$ -ї електропічної установки від закінченого циклу до наступного.

Для побудови моделі (4) прийнято такі допущення:

- відсутність пріоритету у виконанні плану по номенклатурі в середині планового періоду  $T$ ;
- збалансованість і узгодженість випуску продукції по об'єму і номенклатурі виробництва.

Визначення оптимальних значень величин  $t_{nmk}$ , які характеризують моменти вступу в  $k$ -й цикл  $n$ -ї електропічної установки з продукцією  $m$  у відповідності з моделлю (4), дозволяють значно покращити форму добового графіка електричного навантаження електродних заводів та забез-

печити його вирівнювання.

### Висновки

1. Розробка заходів з оптимізації групових графіків електричного навантаження промислових підприємств потребує попередніх розрахунків на підставі математичних моделей, розроблених з урахуванням специфіки підприємства.

2. Потенціальні можливості покращення графіка електричних навантажень можуть бути виявлені в результаті застосування програми GRAFIK та формування даних про електричні навантаження в системному інтерфейсі СУБД FOXPRO.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гордеев В. И. Регулирование максимума загрузки промышленных электрических сетей / В. И. Гордеев. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 184с.
2. Жежеленко И. В. Эффективные режимы работы электротехнологических установок / И. В. Жежеленко, В. М. Божко, Г. Я. Вагин. — К. : Техніка, 1987. — 183 с.
3. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии / П. И. Головкин. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 360с.
4. Авакумов В. Г. Математическая логистика / В. Г. Авакумов. — Омск : РосЗИТЛП, 2008. — 299 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Надійшла до редакції 1.04.10  
Рекомендована до друку 14.04.10

**Милосердов Валерій Олександрович** — доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, **Яринчак Наталя Іванівна** — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет