

Є.М. Іншеков, доц., канд. техн. наук, І.В. Калінчик, магістр  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## Оптимізація режимів електроспоживання підприємства хімічної промисловості

Запропонована модель управління електроспоживанням підприємства через регулювання потужності споживачів технологічного процесу переміщенням даного процесу в часові зони мінімальних навантажень енергетичних систем. Визначена цільова функція та обмеження технологічного процесу. Проведені експериментальні дослідження моделі для хімічного підприємства, показана економічна доцільність такого управління. Показано, що зниження пікових навантажень приводить до зменшення генеруємої потужності в об'єднаній енергосистемі України, що призводить до пропорційного зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу.

**електроспоживання, оптимізація, потужність, споживачі-регулятори, тарифи на електроенергію**

*Загальні положення.* Важливе значення в оптимізації споживання електричної енергії є зниження фінансових затрат за умовну одиницю енергії. Цього зниження можна досягти двома шляхами. Перший шлях – застосування тарифів, диференційованих за зонами доби і відповідне управління електроспоживанням підприємства через регулювання потужності споживачів технологічного процесу переміщенням даного процесу в часові зони мінімальних навантажень енергетичних систем. Другий шлях – застосування власних генеруючих потужностей, для яких затрати на вироблення 1 кВт·год електричної енергії менші за ціну встановлену на ринку електроенергії України.

*Оптимальне управління промисловим навантаженням.* Промислові навантаження можуть бути класифіковані на контрольоване – яке може бути об'єктом певних дій з управління навантаженням і на постійне у часі навантаження – яке має місце у певні періоди часу та не може бути об'єктом дій управління навантаженням. Контрольоване навантаження може бути розділене на незалежне навантаження, залежне від технологічного процесу навантаження, навантаження обмежене зберіганням і послідовне навантаження. Інакше, промислове навантаження включає в себе групу базових споживачів електроенергії, які не підлягають управлінню і контрольованих споживачів названих споживачами-регуляторами (СР) [1-3].

Для економічного стимулювання вирівнювання графіків електричного навантаження енергосистеми споживачі мають можливість розраховуватися за спожиту енергію за тарифами диференційованими по зонах доби [4].

© Є.М. Іншеков, І.В. Калінчик, 2012

В умовах застосування тарифів, що стимулюють позапікове електроспоживання, споживачі економічно зацікавлені в регулюванні електричного навантаження [1-3,5,6]. Управління електроспоживанням промислових об'єктів за рахунок виділених споживачів-регуляторів стає важливим у вирівнюванні графіків навантажень ЕЕС і відповідно підвищення техніко-економічних показників.

*Побудова моделі управління електроспоживанням.* Вважаємо, що дослідження електроспоживання технологічного процесу базується на дискретних інтервалах часового періоду  $T$  (наприклад, один день). Початок та закінчення процесу, можливі лише у межах інтервалів. Інтервали тривалістю  $t_i$  (наприклад, 15 хвилин, або година) для інтервалу  $i$ .

$$\sum_{i=1}^N t_i = T, \text{ для всіх інтервалів } N \text{ часового діапазону.} \quad (1)$$

Введемо індикатор стану технологічного процесу  $I_{mi}$ ,

$$I_{mi} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{обладнання } t \text{ працює на інтервалі } i; \\ 0 \rightarrow \text{обладнання } t \text{ не працює на інтервалі } i. \end{cases} \quad (2)$$

На процес управління електроспоживанням накладаються обмеження виробництва, а саме, в часовому періоді  $T$  необхідно забезпечити мінімальний вихід готової продукції  $Q$ . Тоді,

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} \geq Q, \quad (3)$$

де:  $M$  - загальна кількість обладнання зайнятого у процесі виготовлення готової продукції;

$G_{mi}$  - рівень продуктивності обладнання  $t$  на інтервалі  $i$ .

Використовуючи параметр  $G_{mi}$ , можна змінити виробничі потужності обладнання у різних інтервалах, враховуючи варіативність його використання та параметри ефективності.

*Обмеження на зберігання продукції.* Виробничий процес із зберіганням продукції, як показано на рис. 1, обмежений максимальною ємністю і може бути змодельований наступним чином

$$\sum_{i=1}^T \left[ \sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} - \sum_{r=1}^R q_{ri} \cdot t_{ri} \cdot I_{ri} \right] \leq S_m \text{ для } T = I \div N. \quad (4)$$

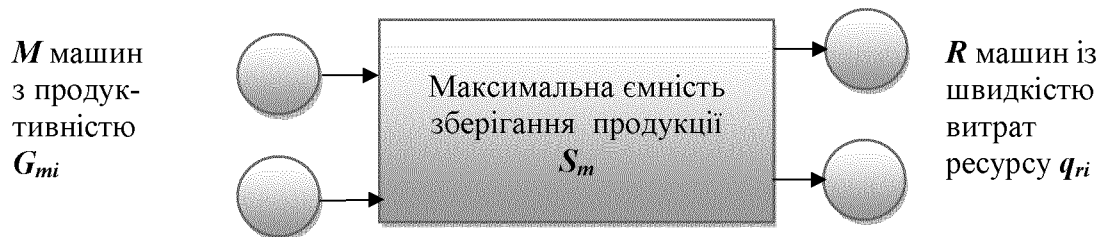


Рисунок 1 – Виробничий процес із зберіганням продукції

*Обмеження технологічного процесу.* Для задовільної роботи машин, задіяних у процесі, потрібно забезпечити певну мінімальну кількість матеріалів. Беручи загальний випадок, показаний на рис. 2, щоб забезпечити необхідний потік матеріалів від одної стадії до наступної, необхідно

$$\sum_{i=1}^T \left[ \sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} + \sum_{l=1}^L S_l \right] \geq \sum_{i=1}^T \left[ \sum_{r=1}^R q_{ri} \cdot t_{ri} \cdot I_{ri} \right] \text{ для } T = I \div N. \quad (5)$$

Машини виробничого рівня  $k$   
 $t = I \div M$

Переміщення матеріалів на рівень  $S_l$   
 $l = I \div L$

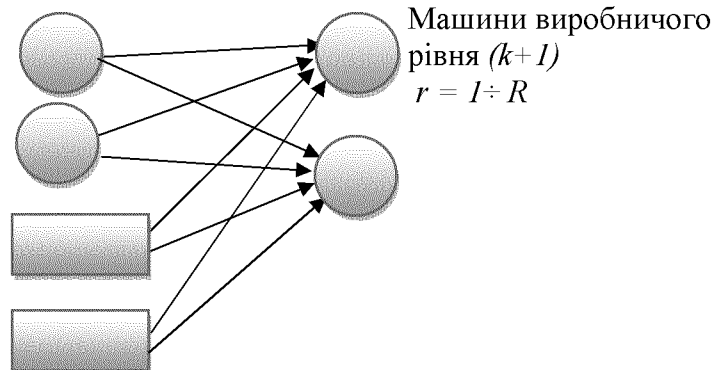


Рисунок 2 - Схема потоку матеріалів від одної стадії до наступної

В деяких випадках на  $k$ -й стадії технологічного процесу необхідно забезпечити мінімальний вихід продукції  $C_{min}$ . Тоді,

$$\sum_{i=1}^T \left[ \sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} \right] \geq C_{min} + \sum_{i=1}^T \left[ \sum_{r=1}^R q_{ri} \cdot t_{ri} \cdot I_{ri} \right] \text{ для } T = I \div N. \quad (6)$$

*Обмеження за послідовністю.* Необхідно дотримуватись певної операційної послідовності для машин. Умовою старту машини  $m$  на інтервалі  $i$  після  $t$  інтервалів, починаючи з  $(m - 1)$ -ої машини, буде

$$t \cdot I_{mi} \leq \sum_{j=i-t}^i I_{(m-1)j}. \quad (7)$$

*Обмеження максимального навантаження.* Обмеження максимального навантаження в пікові зони є важливим фактором для згладжування графіків навантажень об'єднаної енергосистеми і значна кількість промислових підприємств є об'єктами обмежень за максимальним споживанням. Для інтервалу  $i$ :

$$\sum_{m=1}^M P_{mi} \cdot I_{mi} \leq P_{max}, \quad (8)$$

де  $P_{mi}$  - розрахункова потужність (кВт)  $m$ -го механізму технологічного комплексу;

$P_{max}$  - максимально дозволена потужність в пікові зони для підприємства.

*Час відключення машин.* Необхідно виділити певні періоди для налаштування машин у відповідності до графіку. Протягом інтервалу налаштування  $j$  неможливість використання машин  $m$  може бути визначена як

$$I_{mj} = 0. \quad (9)$$

*Визначення розрахункової потужності механізмів.* Розрахункова потужність у кВт для будь-якої машини  $m$  на інтервалі  $i$ :

$$P_{mi} = \{(P_m^n \cdot k_{omi}) / \eta\} \cdot I_{mi}, \quad (10)$$

де  $P_m^n$  - паспортна потужність машини/обладнання  $m$  у кВт;

$k_{omi}$  - коефіцієнт використання для обладнання  $m$  на інтервалі  $i$ ;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії машини/обладнання.

*Цільова функція.* Цільова функція (ЦФ) – мінімізація витрат на електроенергію. Така мінімізація можлива лише для підприємств, що користуються тарифами, диференційованими за зонами доби. До таких підприємств належать хімічні підприємства, які мають безперервний графік роботи. У ЦФ розглядаються лише витрати на електроенергію. Коли  $C_i$  – вартість енергії для інтервалу  $i$ , тоді ЦФ має вигляд:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M (P_{mi} \cdot I_{mi} \cdot t_{mi}) \cdot C_i \rightarrow \min. \quad (11)$$

Для схем управління електроспоживанням, що мають додану вартість на реалізацію такого управління (таку як, додаткова оплата за працю або капітальні витрати на підвищення потужності або встановлення нової технології) ЦФ формулюється у наступному вигляді:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M [(P_{mi} \cdot I_{mi} \cdot t_{mi} \cdot C_i) + (C_{\partial i} \cdot I_{\partial}) \cdot t_i] \rightarrow \min, \quad (12)$$

де  $C_{\partial i}$  - додаткові приведені затрати на реалізацію функції управління електроспоживанням і інтервалі  $i$ ;

$I_{\partial}$  – індикатор наявності таких затрат

$$I_o = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{при наявності затрат;} \\ 0 \rightarrow \text{при їх відсутності;} \end{cases} \quad (13)$$

Побудова графіка навантаження. Загальне навантаження на будь-якому інтервалі буде:

$$\sum_{m=1}^M P_{mi} \cdot I_{mi} \quad (14)$$

Аналогічно може бути отриманий графік навантаження для всього інтервалу  $i = 1$  до  $N$ .

*Програма оптимізації.* Отримана модель оптимізації досить проста і техніка її рішення можлива з використанням будь-якого пакету цілочисельного програмування. Результатом рішення є стан індикатора  $I$  (1 або 0), що вказує на те, які машини будуть ввімкнені або вимкнені у відповідний інтервал.

*Експериментальні дослідження моделі.* Перевірка запропонованої моделі проводилась для хімічного підприємства. Так як основні операції технологічного процесу безперервні і вони не можуть приймати участь в регулюванні навантаження відповідно до часових зон тарифу, то для регулювання електроспоживання технологічного процесу можуть бути задіяні механізми допоміжних операцій і, зокрема, насоси водовідводу.

Розглянуто варіанти перенесення режиму роботи насосів водовідводу на нічну зону (варіант 1) і на нічну та напівпікову зони (варіант 2). При реалізації варіанту 1 режим роботи насосів встановлюється 7 годин на добу. При реалізації варіанту 2 режим роботи насосів встановлюється 18 годин на добу.

Графіки навантаження для всіх варіантів роботи водовідводу показані на рис.3. Зниження пікового навантаження відбувається в обох варіантах, проте у варіанті 1 знижується і напівпікове навантаження.

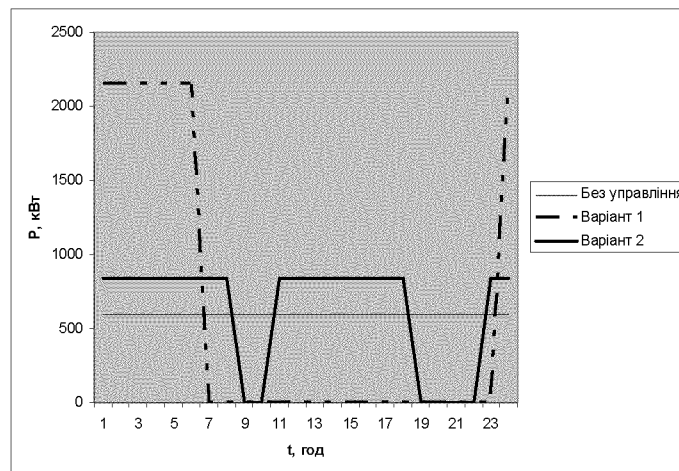


Рисунок 3 – Графіки навантажень водовідводу хімічного підприємства

Для реалізації варіанту 1 управління необхідні додаткові затрати на збільшення потужності насосів водовідводу. При базовій потужності насосів водовідводу 600 кВт економічний ефект від впровадження режиму управління навантаженням хімічного підприємства складає більше 2,5 млн. грн. для варіанту 1 і 0,8 млн грн. для варіанту 2 організації роботи насосів.

*Висновок.* Таким чином організація роботи технологічного процесу хімічного виробництва відповідно до запропонованої моделі оптимізації призводить до значної річної економії коштів. Окрім того, зниження пікових навантажень приводить до зменшення генеруємої потужності в об'єднаній енергосистемі України, що призводить до пропорційного зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу.

## Список літератури

1. Праховник А.В. Концепция и пути автоматизации управления электропотреблением/Праховник А.В. - Общество "Знание", Киев, 1987. - 16 с.
2. Праховник А.В. Шляхи і етапи створення наукового напрямку з проблеми комплексного управління використанням електричної енергії/ Праховник А.В. Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 1999. - № 1. – С. 58 – 70.
3. Праховник А.В. Комплексне використання електричної енергії /Інститут енергозбереження і енергоменеджменту/ Праховник А.В. Енергія майбутнього століття.- №1, -1999. - С. 9-14.
4. Правила користування електричною енергією. Затв. НКРЕ 31.07.96 р.
5. S. Ashok. An Optimization Mode for Industrial Load Management/. S. Ashok, R. Banerjee. // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 16, - NO. 4.- November 2001. – p. 879-884.
6. Іншеков Є.М. Оптимізація режимів електроспоживання підприємств хімічної промисловості/ Іншеков Є.М., Калінчик І.В. - НТУУ „КПІ” Н.-д. ін-т автоматики та енергетики „Енергія”. – Київ, 2012. – 11 с.: іл. –Укр. – Деп. в ДНТБ України 27.04.12, № 13-Ук – 2012.

*Е.Іншеков, І.Калінчик*

### **Оптимизация режимов электропотребления предприятий химической промышленности**

Предложена модель управления электропотреблением предприятия через регулирование мощности потребителей технологического процесса перемещением данного процесса во временные зоны минимальных нагрузок энергетических систем. Определены целевая функция и ограничения технологического процесса. Проведены экспериментальные исследования модели для химического предприятия, показана целесообразность такого управления. Показано, что снижение пиковых нагрузок приводит к уменьшению генерируемой мощности в объединенной энергосистеме Украины, что приводит к пропорциональному уменьшению выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

*Е.Inshekov, I. Kalinchyk*

### **An optimization of electricity consumption modes for chemical industry plants**

A model of electricity consumption management for an enterprise was proposed. It is based on regulating capacities of consumers of technological process by positioning the process to time periods of minimal loads of energy system. The objective function and constraints of technological process were defined. After experimental research of the model implemented on the chemical plant the expediency of such management was proven. It is shown that the reduction of peak loads leads to decrease of generated capacity in integrated power system of Ukraine resulting a proportional reduction of CO<sub>2</sub> emissions.

Одержано 20.09.12