

## СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЗОННИХ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ ТАРИФІВ

Плешков С. П., Кубкін М. В., Савеленко І. В.

*Кіровоградський національний технічний університет*

*Сформульовану задачу синтезу матриці керування споживачами електричної енергії, яка відноситься до класу задач лінійного програмування. Враховані обмеження на реорганізацію технологічного процесу.*

**Постановка проблеми.** Ефективна робота будь-якого підприємства залежить від ефективності енерговикористання можливостей системи електроспоживання. Споживачі тваринницьких комплексів характеризуються чітко вираженими піками навантажень в години максимального навантаження енергосистеми, що при використанні багатозонних диференційованих тарифів приводить до збільшення економічних витрат. Для формування ефективного графіку електроспоживання необхідно вирішити задачу керування роботою споживачів тваринницьких комплексів з урахуванням особливостей технологічного процесу та його обмежень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Керування використанням електричної енергії є актуальним для будь-якої системи, де має місце нерівномірність споживання протягом доби, у робочі та вихідні дні тижня, в різні сезони року [1]. Ефективне управління використанням електричної енергії будь-якого промислового об'єкту залежить від комплексного розгляду ряду питань: використання систем тарифів на електричну енергію; для забезпечення енергозберігаючих режимів роботи структурних елементів об'єктів системи; створення моделей, методів та програмного забезпечення для оптимізації режиму та управління споживанням електроенергії [1].

Актуальність проблеми управління навантаженням за рахунок зсуву технологічних процесів для сільськогосподарського виробництва із значною нерівномірністю електроспоживання протягом доби, в робочі та вихідні дні не визиває сумнівів [2].

Задача оптимізації режиму електроспоживання системи для тваринницьких комплексів може бути сформульована як мінімізація витрат на електричну енергію, яка є функцією факторів: плати за спожиту електричної енергії  $P$  та витрат, що пов'язані з зміною технологічного процесу. При цьому, кожен з факторів представляє собою окремий цільовий функціонал, яка має своє математичне вираження.

Проблема керування режимом електроспоживання складається з декілька складових, кожна з яких носить ізольований характер, що при комплексному їх розгляді дозволить створити технологічний процес на кращих економічних показниках.

**Мета статті.** Вирішити задачу синтезу керування різномірними споживачами з метою мінімізації плати за спожиту електричну енергію в умовах багатозонного диференційованого тарифу.

**Основна частина.** В якості критерію оптимізації виступає плата за спожиту електричну енергію.

В зв'язку з обмеженнями, які накладаються об'єктами технологічного процесу, зсув графіків навантажень призводить до підвищення витрат, які пов'язані із переносом навантаження в іншу годину доби.

Таким чином в подальшому в якості критеріїв оптимізації будемо розглядати:

1) плату за спожиту електричну енергію;

2) технологічні обмеження, які введемо у цільовий функціонал у вигляді штрафного функціоналу.

Обмеженнями будуть виступати об'єми спожитої енергії в кожному технологічному процесі.

Нехай маємо  $N$  різномірних споживачів з потужностями  $p_1, p_2, \dots, p_N$  і добовим споживанням електроенергії  $W_1, W_2, \dots, W_N$ , що працюють в умовах 24-х зонного диференційованого тарифу з тарифними ставками  $c_1, c_2, \dots, c_{24}$ .

Плата за спожиту енергію  $j$ -м споживачем в  $i$ -й тарифній зоні визначається як:

$$P_{ij} = c_i u_{ij} p_j \Delta t_i; \quad i = \overline{1, 24}; \quad j = \overline{1, N};$$

де  $\Delta t_i$  — часова ширина  $i$ -ї тарифної зони (в нашому випадку  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_{24} = 1$ );  $u_{ij}$  —  $ij$ -й елемент матриці керування:

$$\mathbf{u} \triangleq \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1N} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{24,1} & u_{24,2} & \dots & u_{24,N} \end{bmatrix}.$$

Всі елементи матриці керування є булевими  $u_{ij} \in \{0, 1\}$ . Це можна інтерпретувати наступним чином: приймач  $p_j$  в  $i$ -ту тарифну зону або ввімкнений ( $u_{ij} = 1$ ) або вимкнений ( $u_{ij} = 0$ ).

Плата за електричну енергію спожиту за добу  $j$ -м споживачем буде визначатися рівнянням:

$$P_j = \sum_{i=1}^{24} P_{ij} = \sum_{i=1}^{24} c_i u_{ij} p_j;$$

а плата за спожиту за добу енергію  $N$  споживачами визначатися функціоналом:

$$P(\mathbf{u}) = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N c_i u_{ij} p_j. \quad (1)$$

Технологічні обмеження, які накладаються на матрицю керування  $\mathbf{u}$ , у зв'язку з реорганізацією технологічного процесу (штрафним функціоналом):

$$F(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N k_{ij} u_{ij}, \quad (2)$$

$$\mathbf{k} \triangleq \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1,N} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{24,1} & k_{24,2} & \dots & k_{24,N} \end{bmatrix}.$$

$k_{ij}$  представляє собою загальні витрати, пов'язані з переносом роботи  $j$ -го навантаження в  $i$ -ту тарифну зону.

При визначенні загальних витрат на реорганізацію технологічного процесу, слід враховувати особливості технологічної схеми споживача при виконанні вимог процесу керування з метою економії електроенергії в пікових зонах протягом доби..

Таким чином виходячи з (1) та (2) критерієм оптимізації буде виступати функція:

$$\begin{aligned} \Phi(\mathbf{u}) &= P(\mathbf{u}) + F(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N c_i u_{ij} p_j + \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N k_{ij} u_{ij} = \\ &= \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N (c_i p_j + k_{ij}) u_{ij}. \end{aligned} \quad (3)$$

Обмеження по енергії, що споживається  $j$ -м споживачем:

$$\sum_{i=1}^{24} u_{ij} p_j = W_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (4)$$

Задачу синтезу оптимального керування електроспоживанням сформулюємо наступним чином: знайти матрицю керування  $\mathbf{u}$  яка б мінімізувала функціонал (3) та задовільняла обмеженням (4):

$$\begin{cases} \Phi(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N (c_i p_j + k_{ij}) u_{ij} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^{24} u_{ij} p_j = W_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, N\}, \\ u_{ij} \in \{0, 1\}. \end{cases} \quad (5)$$

Для запису (5) в матричному вигляді введемо поняття векторів потужності  $\mathbf{p}$ , спожитої енергії  $\mathbf{W}$ , тарифних ставок  $\mathbf{c}$  і блочної матриці потужності  $\mathbf{P}$ :

$$\mathbf{p} \triangleq \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_N \end{bmatrix}; \quad \mathbf{W} \triangleq \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_N \end{bmatrix}; \quad \mathbf{c} \triangleq \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{24} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{P}_{1 \times 24} \triangleq [\mathbf{p} \mid \mathbf{p} \mid \dots \mid \mathbf{p}].$$

Задача (5) в матричному вигляді приймає вид:

$$\begin{cases} \mathbf{c}^T \mathbf{u} \mathbf{p} + \text{tr}(\mathbf{k}^T \mathbf{u}) \rightarrow \min; \\ \text{diag}(\mathbf{P} \mathbf{u}) = \mathbf{W}; \\ \mathbf{u} \in \{0, 1\}. \end{cases} \quad (6)$$

Позначення в (6):  $\text{tr}(\mathbf{M}_{k \times k})$  — слід матриці  $M$  (сума діагональних елементів);  $\text{diag}(\mathbf{M}_{k \times k})$  — операція формування вектор-стовпчика розміром  $k \times 1$  з діагональних елементів матриці  $M$ .

**Висновки.** Сформульовану задачу оптимального керування споживачами електричної енергії в умовах використання багатозонних тарифів на електроенергію. Визначені вагові характеристики за допомогою яких, виконується аналіз технологічних операцій за значимістю, що дозволяє створити оптимальний режим електроспоживання. Вплив штрафного функціоналу на матрицю керування потребує подальшого дослідження.

#### Список використаних джерел

1. Праховник А. Комплексне управління використанням електроенергії. / Праховник – Энергия будущего века, январь-март, 1999. – С. 9-14.
2. Дерзский В. Г. Формування тарифів на електричну енергію, диференційованих по класах напруги і групам споживачів / В. Г. Дерзский, Н. Э. Рачин // Энергетика й електрифікація, - 1996. - № 2. - С. 32-36.

#### Аннотация

#### СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЗОННЫХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ТАРИФОВ

Кубкин М. В., Савеленко И. В., Плешков С. П.

*Сформулирована задача синтеза матрицы управления потребителей электрической энергии, которая относится к классу задач линейного программирования. Учтены ограничения при реорганизации технологического процесса.*

#### Abstract

#### SYNTHESIS OF OPTIMAL CONTROL LAW REGULATING POWER CONSUMPTION PROVIDED THAT MULTIZONE DIFFERENTIAL ELECTRICITY PRICES ARE USED

M. Kubkin, I. Savelenko, P. Pleshkov

*The problems of synthesis of an optimal control law regulating power consumption was formulated. The problem belongs to the class of linear programming problems. The restrictions for the reorganization of the technological process were taken into account.*