

INTELLIGENT ELECTRICITY MANAGEMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

S. Baluta, V. Jovbak, L. Kopilova, O. Sokolova

National University of Food Technologies

Key words:

*Electric power
Control
Power consumption
Consumers-regulators
Algorithm
Neuro-fuzzy systems*

Article history:

Received 16.01.2019
Received in revised form
04.02.2019
Accepted 15.02.2019

Corresponding author:

S. Baluta

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

The paper presents a systematic analysis of the process of controlling the consumption of industrial enterprises taking into account the influence of the power supply system. As a result of the analysis, the main stages of the management process are defined: the basic control functions, the conditions for the management functions; basic information flows that provide management of power consumption. To implement the management functions within the intellectual system, the following functional blocks are provided: definition and verification of the accuracy of the measurement information; forecasting of electricity consumption; standardization and planning of expenses for the consumption of electric energy by the enterprise and separate units on the basis of predicted values of electricity consumption; comparison of actual and planned expenses of electric energy; formation of managerial decisions on management of power consumption. Neuro-network technologies are used to predict the electricity consumption by production units and to standardize electricity consumption. An imprecise mathematical model based on the Takagi Sugeno algorithm, the parameters of which are configured with the help of an adaptive neural network, is chosen as a model for forecasting the consumption of electric load. For forecasting, the following input data is used: production plans for production facilities, the value of specific energy consumption on them, average daily temperature of the external environment. Output data are: electricity consumption and specific norms of energy consumption of valuation facilities. It has been established that in order to ensure that the technological process and the process of electricity consumption are taken into account in order to control the consumption of industrial enterprises, it is necessary to use the subsystem of support and decision-making. The requirements for organizational and technical support for management of the consumption of industrial enterprises have been formulated.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

С.М. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.О. Копилова, О.М. Соколова
Національний університет харчових технологій

У статті представлено системний аналіз процесу керування електроспоживанням промислового підприємства з урахуванням впливу системи електропостачання. В результаті аналізу визначено основні етапи процесу керування: базові функції керування, умови забезпечення функцій керування; базові інформаційні потоки, які забезпечують керування електроспоживанням. Для реалізації функцій керування в складі інтелектуальної системи передбачені такі функціональні блоки: визначення та перевірки на достовірність вимірювальної інформації; прогнозування електроспоживання; нормування та планування витрат споживання електричної енергії підприємством і окремими підрозділами на основі прогнозних значень електроспоживання; порівняння фактичних і планових витрат електричної енергії; формування управлінських рішень щодо керування електроспоживанням. Для прогнозування електроспоживання виробничими підрозділами і нормування електроспоживання використовується нейромережеві технології. Як модель прогнозування споживання електричного навантаження обрано нечітку математичну модель на основі алгоритму Такагі Сугено, параметри якої налаштовуються за допомогою адаптивної нейронечіткої мережі. Для прогнозування використовуються такі вхідні дані: плани виробництва по об'єктах виробництва, значення питомого енергоспоживання, середньодобова температура зовнішнього середовища. Вихідні дані: електроспоживання і питомі норми енергоспоживання об'єктів нормування. Встановлено, що для забезпечення врахування взаємного зв'язку технологічного процесу і процесу електроспоживання для керування електроспоживанням промислових підприємств необхідно використовувати підсистему підтримки та прийняття рішень. Сформульовано вимоги до організаційно-технічного забезпечення управління електроспоживанням промислових підприємств.

Ключові слова: електроенергія, керування, електроспоживання, споживачі-регулятори, алгоритм, нейро-нечіткі системи.

Постановка проблеми. Проблема управління споживанням електричної енергії є актуальною для промисловості, оскільки її вирішення забезпечує зменшення втрат електроенергії при її транспортуванні й енергоемність продукції, яка випускається підприємствами галузі, підвищує ефективність використання генеруючих потужностей.

Завдання полягає у проведенні системного аналізу процесу керування електроспоживанням промислового підприємства, розробленні структурних схем, методів і алгоритмів керування електроспоживанням ПП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням керування електроспоживанням присвячено ряд праць [1—6]. Розглянемо деякі з них. У статті [1] описано програмне забезпечення систем комерційного обліку ЕЕ і комплексу технічних засобів «Енергомiра», яке представлено сукупністю програмних модулів для організації комерційного обліку ЕЕ на енергетичних об'єктах. Такими об'єктами можуть виступати енергетичні компанії, районні електричні мережі, підстанції та інші споживачі ЕЕ.

Програмне забезпечення комплексу технічних засобів «Енергомiра» включає:

- автоматичне робоче місце диспетчера, що здійснює обробку даних з пристрою збору і передачі даних, подання їх у вигляді графіків і таблиць;
- генератор звітів для створення різних форм документів;
- програми збору даних і формування баз даних;
- програми адміністрування комплексу технічних засобів для визначення параметрів пристроїв системи.

Аналіз праць [1; 2] показав, що програмне забезпечення, представлене в них, створено різними організаціями, які не взаємодіють між собою при його створенні. Це викликає істотні ускладнення при спільному використанні програмного забезпечення.

У статті [3] представлена дворівнева автоматизована система обліку споживання ЕЕ «Е1 — Енергооблік». Нижній рівень системи містить електронні лічильники «Євро Альфа» і «Альфа Плюс» з цифровими каналами зв'язку, а верхній — сучасні комп'ютери з автоматичними робочими місцями диспетчера. Система побудована за архітектурою «клієнт—сервер» і дає змогу підтримувати довільну кількість клієнтських комп'ютерів з автоматичними робочими місцями диспетчера. Однак нині завдяки цій системі вирішуються лише завдання обліку ЕЕ.

Останнім часом все більше застосування знаходять автоматизовані системи контролю та обліку ЕЕ нового покоління, основу побудови яких складають сучасні промислові контролери [4]. Ці системи орієнтовані на вирішення завдань комерційного обліку споживання ЕЕ і потужності, а також технічного обліку й моніторингу електричних навантажень промислових підприємств у режимі реального часу. Аналіз праць [4—6] показує, що розглянуті в них системи виконують функції контролю електричної потужності і ЕЕ. Ці системи не реалізують функцій нормування, планування, прогнозування й оптимізації керування електроенергетикою промислових підприємств, що дають змогу отримати основний економічний ефект.

Метою дослідження є розробка методів інтелектуального управління електроспоживанням промислового підприємства з урахуванням впливу системи електропостачання, що забезпечить підтримання енергоефективних режимів електроспоживання та електропостачання промислового підприємства.

Викладення основних результатів дослідження. Завдання оперативного управління електроспоживанням промислового підприємства полягає в необхідності мінімізувати сукупність таких критеріїв [9]:

- за збитками підприємства від відключення (переходу на знижений режим роботи) споживачів регуляторів (СР) активного навантаження:

$$F_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I y_{ij} k_{ij} \rightarrow \min ; \quad (1)$$

- за кількістю відключень споживачів регуляторів (СР) (комутацій електромережі підприємства):

$$F_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I k_{ij} \rightarrow \min ; \quad (2)$$

- за втратами потужності (енергії) в електричній мережі підприємства, що обумовлені передаванням реактивної енергії при наступних обмеженнях:

$$F_3 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left\{ \left[Q_{i1}(t) - \sum_{g_{ij}=1}^{G_{ij}} Q_{g_{ij}}(t) h_{g_{ij}} \right]^2 R_{ij} / U_{ij}^2(t) \right\} \rightarrow \min ; \quad (3)$$

- за активним навантаженням підприємства:

$$\sum_{i=1}^I P_{i1}(t) - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I P_{ij}(t) k_{ij} \leq P_{orp} ; \quad (4)$$

- за реактивним навантаженням підприємства:

$$Q_{bx}(t) \leq \sum_{i=1}^{L_1} \left[Q_{i1}(t) - \sum_{g_{i1}=1}^{G_{i1}} Q_{g_{i1}}(t) h_{g_{i1}} \right] \leq Q_{\max}(t) ; \quad (5)$$

- за напругою на приймачах електричної енергії:

$$U_{ijxb} \leq U_{ij}(t) \leq U_{ij\max} . \quad (6)$$

Для запобігання зривам технологічного процесу (ТП), обумовлених тривалими і частими відключеннями одних і тих самих СР, передбачена можливість встановлення тимчасових заборон на використання цих СР для регулювання навантаження, що дають змогу адаптувати завдання до реальних умов, які склалися на виробництві.

При розробці методів управління електроспоживанням використовуємо підсистеми у вигляді сукупності взаємопов'язаних структур: підтримки прийняття рішень, функціональної, організаційно-технічної та інформаційної.

Процес керування електропостачанням й електроспоживанням промислових підприємств неможливо адекватно описати за допомогою існуючого математичного апарату. Виникає необхідність їх поділу на окремі підсистеми, для формалізації яких можуть бути використані відомі математичні методи. Для аналізу процесу керування електроспоживанням з урахуванням впливу системи електропостачання використовуємо підхід до декомпозиції системи керування електропостачанням та електроспоживанням промислових підприємств, який забезпечує незалежність і повноту ознак, за якими здійснюється декомпозиція .

Цей підхід передбачає:

- на теоретико-множинному рівні формалізувати складові структури системи керування;

- у рамках єдиної концепції здійснити розробку підсистем керування, які забезпечують її функціонування;
- організувати спільне функціонування цих підсистем.

Керування електроспоживанням та електропостачанням є найважливішою підсистемою автоматизованої системи керування промисловим підприємством, що обумовлює ефективність електропостачання підприємства.

На теоретико-множинному рівні процес керування організаційно-технічними об'єктами представляється у вигляді відображень окремих дій:

$$F_n : \{L \times K \times Z \times P_{\text{вх}}\} \rightarrow P_{\text{вих}}, n = \overline{1, N}, \quad (7)$$

де L — дії з формувань основних функцій керування; K і Z — відповідно, дії з формувань можливих сполучень основних умов і механізмів реалізації функцій керування; $P = P_{\text{вх}} \cup P_{\text{вих}}$ — дії з формувань можливих сполучень основних інформаційних потоків; $P_{\text{вх}}$ і $P_{\text{вих}}$ — множини вхідних і вихідних інформаційних потоків.

При управлінні електроспоживанням промислового підприємства з урахуванням впливу системи електропостачання виконують такі дії:

1. *Дії з формувань основних функцій керування:* L_1 — реєстрація споживання електричної енергії, стану електричної мережі та ПЯЕЕ і перевірка даних вимірювань на достовірність; L_2 — вибір моделі і прогнозування витрат (споживання) електроенергії (ЕЕ) по виробничих підрозділах і підприємству; L_3 — розрахунок норм витрат ЕЕ, планування витрат ЕЕ і формування з їх використанням балансів ЕЕ; L_4 — розрахунок параметрів якості електричної енергії, параметрів режиму СЕП, аналіз конфігурації електричної мережі; L_5 — формування переліку електроспоживачів регуляторів та їх оптимального складу (ЕСР); L_6 — формування бази даних (БД) з керування витратами ЕЕ підприємства і підтримання її в актуальному стані; L_7 — прийняття рішень по витратах ЕЕ виробничих підрозділів і підприємства, максимальній споживаній потужності; L_8 — прийняття рішень щодо вибору конфігурації електричної мережі, підвищення показників якості електричної енергії, оптимізації режимів роботи СЕП.

2. *Дії з формувань основних умов реалізації функцій керування:* K_1 — інформація про витрати ЕЕ підприємством (нормативні акти); K_2 — інформація про обмеження та тарифи, що містяться в договорі на постачання ЕЕ на підприємство; K_3 — вимоги до точності метрологічних прогнозів; K_4 — вимоги до точності прогнозу електроспоживання; K_5 — порядок взаємодії з системою керування БД (СУБД); K_6 — вимоги до показників якості електричної енергії та надійності електропостачання. K_7 — вимоги до параметрів режиму СЕП.

3. *Основні елементи і механізми, які реалізують функції керування:* Z_1 — інформаційно-обчислювальний комплекс (ІОК) служби головного енергетика, який надає інформацію про стан і режими СЕП; Z_2 — енергодиспетчер, який формує обмеження для виконання нормативів щодо енергоспоживання; режимів функціонування СЕП, показників якості електричної енергії та конфігурації електричної мережі; Z_3 — оператор технологічного процесу, який формує обмеження щодо споживачів регуляторів; Z_4 — головний енер-

гетик, який формує обмеження для виконання вимог енергосистеми, надійності електропостачання; Z_5 — датчики для вимірювання електроспоживання, параметрів якості електричної енергії, стану елементів СЕП і електричні апарати для комутації споживачів та зміни конфігурації СЕП; Z_6 — БД АСУ енергетикою підприємства, яка використовується для підготовки рішень.

4. *Основні інформаційні потоки, які використовуються для реалізації функції керування:* P_1 — прогнозні значення температури навколишнього середовища і вологості повітря, отримані з метеостанції; P_2 — поточні дані про витрати ЕЕ виробничими підрозділами і підприємством; P_3 — поточні дані про обсяги продукції, виробленої підрозділами і підприємством; P_4 — поточні дані про ввімкнені споживачі регулятори та збитки, які обумовлені їх відмиканням; P_5 — ліміт електроспоживання підприємства; P_6 — поточні дані про витрати ЕЕ; P_7 — поточні дані про поточну температуру навколишнього середовища; P_8 — прогнозні значення витрати ЕЕ по підрозділах і підприємству; P_9 — план витрат ЕЕ підприємством; P_{10} — прийняття рішень по витраті ЕЕ; P_{11} — керувальні дії з регулювання витрати ЕЕ; P_{12} — оптимальний склад споживачів регуляторів; P_{13} — поточні дані про ПЯЕЕ; P_{14} — поточні дані про параметри режиму СЕП; P_{15} — поточні дані про конфігурацію СЕП; P_{16} — керувальні дії з керування ПЯЕЕ; P_{17} — керувальні дії зміни конфігурації СЕП; P_{18} — керувальні дії з оптимізації режимів СЕП.

Результати системного аналізу процесу керування електроспоживанням промислового підприємства показуються у вигляді відображень для окремих дій:

- реєстрація споживання ЕЕ, оцінка стану електричної мережі та ПЯЕЕ та перевірки на достовірність вимірювальної інформації:

$$F_1 : \{L_1, (P_1, P_2), K_3, (Z_1, Z_2, Z_5)\} \rightarrow (P_6, P_7); \quad (8)$$

- вибору моделі та проведення прогнозування електроспоживання:

$$F_2 : \{L_2, (P_3, P_6, P_7), (K_1, K_4), Z_1\} \rightarrow P_8; \quad (9)$$

- нормування, планування та формування балансів по окремих підрозділах та підприємству:

$$F_3 : \{L_3, (P_3, P_8), K_1, (Z_1, Z_2)\} \rightarrow P_9; \quad (10)$$

- проведення аналізу режимів СЕП, ПЯЕЕ та надійності СЕП:

$$F_4 : \{L_4, (P_3, P_4, P_5), (K_6, K_7), (Z_1, Z_2, Z_4, Z_5)\} \rightarrow P_3, P_4, P_5; \quad (11)$$

- формування переліку споживачів регуляторів та їх оптимального складу:

$$F_5 : \{L_5, (P_2, P_3, P_5, P_8), (K_1, K_2), (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4)\} \rightarrow P_4, P_2; \quad (12)$$

- прийняття рішення щодо витрат ЕЕ:

$$F_6 : \{L_7, (P_5, P_6, P_9, P_{12}), (K_1, K_2), (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4)\} \rightarrow P_{10}, P_{11}; \quad (13)$$

- прийняття рішення щодо зміни конфігурації й оптимізації режимів СЕП; нормалізації ПЯЕЕ:

$$F_7 : \{L_8, (P_{13}, P_{14}, P_{15}), (K_6, K_7), (Z_1, Z_2, Z_4, Z_5, Z_6)\} \rightarrow P_{16}, P_{17}, P_{18}; \quad (14)$$

- формування та підтримання в актуальному стані БД по керуванню витратами ЕЕ:

$$F_8 : \left\{ \begin{array}{l} L_6, (P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{12}), \\ K_5, (Z_1, Z_3, Z_6) \end{array} \right\} \rightarrow P_3, P_4, P_5, P_6, P_8, P_9. \quad (15)$$

Виконана декомпозиція системи керування електропостачанням та електрозбереженням, яка забезпечила цілісність її зображення і відображає інформаційну взаємодію, умови і механізми складових керування.

Планове керування електроспоживанням (ЕСП). Планування потужності споживачів ПП проводиться шляхом виявлення споживачів-регуляторів ЕЕ у нормальному режимі (СР_н) і у вимушеному режимі, який реалізується при впровадженні обмежень з боку енергопостачальної організації (визначення споживачів-регуляторів ЕЕ вимушеного режиму (СР_в) з метою визначення можливостей регулювання навантаження при мінімізації електроспоживання [8].

Алгоритм керування електроспоживанням промислового підприємства. Для реалізації планового керування ЕСП запропонований алгоритм керування режимом електроспоживання промислового підприємства (рис.) шляхом зміни режиму роботи електроспоживаючого обладнання СР (відключення або переведення СР на режим роботи з меншим навантаженням) [7].

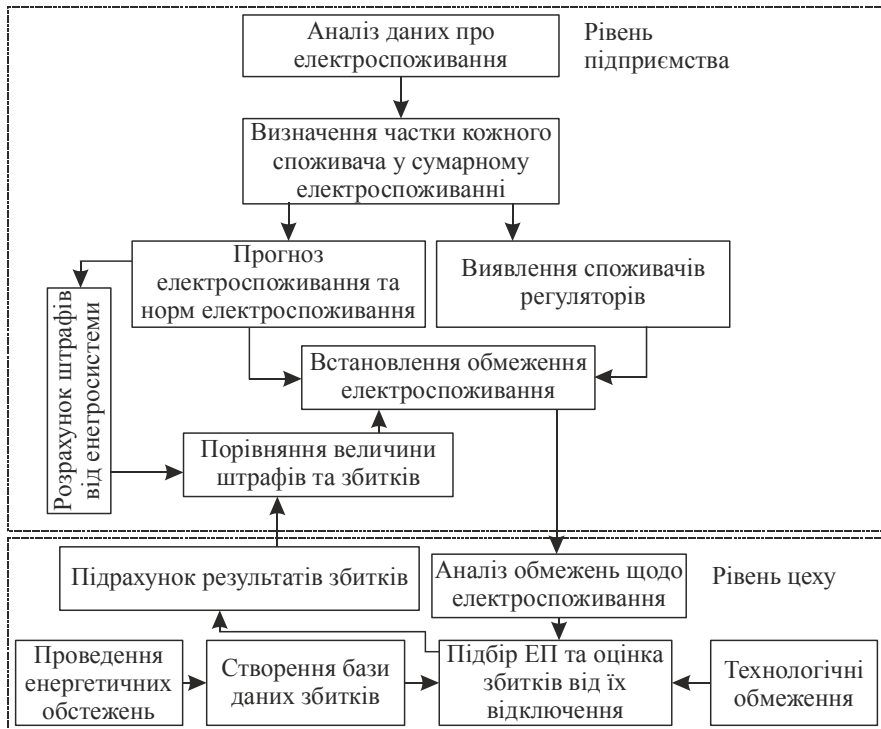


Рис. Алгоритм керування електроспоживанням ПП

Рішення щодо зміни режиму СР приймаються залежно від прогнозного значення електроспоживання $W_{\text{пр}} \in W$. Для цього множина W можливих значень електроспоживання розбивається на ряд непересічних підмножин:

$$\begin{aligned} M_1 &= \{W_{\text{пр}} \geq W_L^B\}, \quad M_2 = \{W_L^H < W_{\text{пр}} < W_L^B\}, \\ M_3 &= \{W_L^H \geq W_{\text{пр}}\}, \end{aligned} \quad (16)$$

де W_L^H, W_L^B — нижнє і верхнє обмеження по електроспоживанню, які встановлюються енергосистемою при нестачі дефіцитних видів палива, аварійних ситуаціях, нормативні значення електроспоживання тощо.

Кожній з виділених підмножин ставиться у відповідність сукупність керувальних впливів. Потрапляння контрольованого параметра $W_{\text{пр}}$ в кожен з виділених підмножин M_1, M_2, M_3 призводить до формування відповідного керувального впливу.

Керування режимом електроспоживання електроспоживання полягає у виконанні таких дій:

- вирішення завдань прогнозу електроспоживання, визначення питомих витрат ЕЕ та порівняння їх з нормативними та вибір оптимального складу СР (верхній рівень ПКРЕС);
- вирішення завдання підтримки електроспоживання обраних об'єктів у заданих рамках протягом розрахункового періоду (нижній рівень ПКРЕС).

Прогнозування електроспоживання промислового підприємства на основі нейро-нечіткої мережі (ННМ). Для прогнозування електроспоживання виробничими підрозділами використовується нейро-нечіткі системи. Як модель прогнозування адитивних компонент часового ряду споживання електричного навантаження обрана нечітка математична модель на основі алгоритму Такагі Сугено, параметри якої налаштовуються за допомогою адаптивної нейронечіткої мережі (ННМ).

Як модель прогнозування адитивних компонент часового ряду споживання електричного навантаження обрана нечітка математична модель на основі алгоритму Такагі Сугено, параметри якої налаштовуються за допомогою адаптивної нейро-нечіткої мережі (ННМ). З точки зору особливостей динаміки часових рядів електроспоживання (наявність піків, перепадів, високочастотних флуктуацій), а також специфіки розв'язуваної задачі прогнозування (вимоги точного відстеження локальних особливостей сигналу і їх тимчасова локалізація), для побудови моделі динаміки електроспоживання вибрано вейвлет-перетворення, що має можливості як частотної, так і тимчасової локалізації і максимально точного відтворенням не лише локальних особливостей, але й сигналу в цілому. Для нормування електроспоживання також використовуються нейромереві технології. Вхідні дані такі: плани виробництва по об'єктах виробництва, прогнозовані значення питомого енергоспоживання по них, середньодобова температура зовнішнього середовища. Вихідні дані: питомі норми енергоспоживання об'єктів нормування. При формуванні управлінських рішень електроспоживання використовуються методи

цільового програмування, реалізованого методами нечіткої оптимізації і теорії ігор, що дало змогу врахувати особливості задачі оптимізації: висока розмірність розв'язуваної задачі та інтегральні критерії якості, пов'язані з необхідністю врахування множини цілей управління (мінімум електроспоживання, максимум продуктивності і якості продукції тощо); імовірнісний характер зміни параметрів процесу; неповні вихідні дані.

Побудова підсистеми автоматизованого керування електроспоживання на основі прогнозних значень електроспоживання підприємства. ПАКЕС являє собою сукупність взаємодіючих блоків — прогнозування, нормування і планування електроспоживання, формування оптимального складу споживачів і діалогової підсистеми прийняття рішень з керування електроспоживанням підприємства [9].

Розглянемо особливості і призначення окремих функціональних блоків.

Блок прогнозування. На основі даних, що надходять з БД з управління витратами ЕЕ, за допомогою перцептрона виконується прогнозування ЕСП виробничих підрозділів і підприємства в цілому. Прогнозні значення ЕСП за даними об'єктам надходять у блок нормування і планування електроспоживання.

Блок нормування і планування електроспоживання. На основі отриманих прогнозних значень визначаються сумарна норма витрати і сумарні планові витрати ЕЕ по виробничим підрозділам, а також норма витрати і планова витрата ЕЕ по підприємству в цілому. Отримані дані містяться в БД з управління витратою ЕЕ і обчислені на їх основі сумарні планові витрати ЕЕ по невиробничих підрозділах підприємства.

Блок формування оптимального складу споживачів ЕЕ. На основі даних, що надходять з БД з керування витратами ЕЕ, а також вимог енергосистеми формується перелік СР. Перелік споживачів регуляторів та обсяги електроспоживання передаються в підсистему підтримки прийняття рішень.

Підсистема підтримки прийняття рішень з керування електроспоживанням. З БД з управління витратою ЕЕ отримують дані про фактичне і планове споживання ЕЕ виробничими підрозділами і підприємством в цілому, а також оптимальний склад споживачів ЕЕ. За допомогою підсистеми підтримки прийняття рішень здійснюється зіставлення фактичних і планових значень електроспоживання по підприємству і виробничих підрозділах, формуються керувальні впливи (КВ) — варіанти рішень з керування електроспоживання промислового підприємства, які забезпечать виконання вимог енергосистеми.

Процедура оперативного управління режимом електроспоживання підприємства [9] полягає в тому, що при нормальному режимі функціонування через фіксовані проміжки часу Δt керувально-обчислювальний комплекс проводить опитування датчиків, визначення поточної витрати електроенергії й обчислення фактичних навантажень по підприємству P і окремих електроприймачам P_j .

Далі розраховуються прогнозні значення навантаження з використанням адаптивної процедури прогнозування. Прогноз здійснюється з попередженням на r тактів опитування, що відповідає інтервалу часу $t^* = r \cdot \Delta t$ і визначається тривалістю підготовки і здійснення рішення реалізації керуючих дій.

Рішення приймаються залежно від прогнозного значення навантаження $P_{\text{пр}} \in P$.

Вся множина P можливих значень навантаження розбивається на ряд непересічних підмножин:

$$\Omega_1 = \{P_{\text{пр}} \geq P_L^B\}; \quad (17)$$

$$\Omega_2 = \{P_L^H < P_{\text{пр}} < P_L^B\}; \quad (18)$$

$$\Omega_3 = \{P_L^H \geq P_{\text{пр}}\}, \quad (19)$$

де P_L^B, P_L^H — нижнє і верхнє обмеження електричного навантаження.

Кожній з виділених підмножин ставиться у відповідність сукупність керувальних впливів (КВ). Обмеженням навантаження виступає заявлена підприємством на певний квартал максимальна потужність P_{max}^k .

При управлінні електроспоживанням доцільно використати метод розпізнавання станів СЕП, доповнюваний методами ідентифікації станів СЕП із застосуванням нейро-нечіткої мережі та оптимізації станів СЕП на основі генетичного алгоритму, методу класифікації станів СЕП за допомогою нечіткої кластеризації [8; 11].

Метод формування складу електроприймачів для регулювання активного навантаження. Вибір споживачів регуляторів (СР) здійснюється за векторним критерієм з складовими (1) і (2) в області, яка визначається обмеженнями (4), за допомогою генетичного алгоритму (ГА) [12]. Завдання вирішується для нижнього рівня СЕП підприємства. Після вирішення завдання за допомогою ГА визначаються вузли вищих рівнів ієрархії системи електропостачання, що містять тільки вибрані на нижньому рівні СР. При наявності таких вузлів вони включаються в список для регулювання навантаження замість СР, належних їм.

Програмно-технічні засоби управління електроспоживанням. У системі управління виділяється автоматична частина, яка реалізується на основі апаратно і програмно сумісних технічних засобів: інтелектуальних датчиків; вимірювальних перетворювачів; аналогових комутаторів; мікропроцесорних контролерів; персональних ЕОМ, розміщених на робочих місцях співробітників служби головного енергетика (СГЕ) і об'єднаних в локальні обчислювальні мережі, пов'язані між собою та іншими мережами АСУ; виконавчих механізмів та інших технічних засобів, вироблених фірмами: Siemens, Analog Devices, Octagon Systems, Advantech, Measurement Computing, Industrial Tech, TREI GmbH, Pepperl + Fuchs Group тощо.

При розробці програмного забезпечення (ПЗ) АСУЕП доцільно використовувати сучасні інструментальні програмні засоби:

- CASE-засоби [10]: BPwin, ERwin (Logic Works), Rational Rose (Rational Software) тощо;

- SCADA-системи [11]: InTouch, InTrack, InBatch, InSupport (Wonderware); Genesis (Iconics); Citect (Ci Technologies); КРУГ-2000 (НПФ «Коло»); Trace

Mode (AdAstra) та ін., що дасть змогу систематизувати й автоматизувати всі етапи розробки ПЗ і забезпечить уніфікацію проектних рішень і полегшить обслуговування, розвиток і модифікацію програмних систем. Поряд з функціями збору та первинної обробки інформації, для програмної реалізації їх в функції реального часу використовуються CASE-засоби і технології програмування за допомогою SCADA-ПАКЕТ.

Висновки

1. Розробка методів управління електроспоживанням проводиться на основі системного аналізу процесу керування електроспоживанням, що дає змогу врахувати вплив системи електропостачання і визначити етапи керування, керувальні дії, інформаційні потоки і умови реалізації керувальних дій.

2. Формування дій з керування електроспоживанням проводиться на основі прогнозних значень електроспоживання, які визначені за допомогою нейронечітких мереж.

3. Керування електроспоживанням проводиться з використанням споживачів регуляторів, які визначаються за евристичним алгоритмом і прогнозних значень електроспоживання.

4. Процес управління електроспоживанням реалізується з використанням діалогової підсистеми підтримки і прийняття рішень.

Література

1. Мирзоян Ю.Ц. Программное обеспечение КТС «Энергомера». *Энергетик*. 2000. № 8. С. 42—44.
2. Капитонова Б., Туганов В., Сатаров Л. Территориально-распределенная автоматизированная система учета и контроля электропотребления. *Современные технологии автоматизации*. 1996. № 1. С. 78—80.
3. Булаев Ю.В., Табаков В.А., Еськин В.В. Комплексная автоматизация энергоснабжения предприятия. *Промышленная энергетика*. 2001. № 2. С. 11—15.
4. Егоров В.А. АСКУЭ современного предприятия. *Энергетик*. 2001. № 12. С. 41—48.
5. Ковезев С.Н., Уразов В.В., Чумаков В.В. АСКУЭ на базе ИВК «Спрут». *Энергетик*. 2001. № 2. С. 11—13.
6. Молокан Э. Автоматизация учета энергопотребления. *Современные технологии автоматизации*. 1996. № 1. С. 74—76.
7. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электропитания горнодобывающих предприятий. Москва: Недра. 1985. 232 с.
8. Резчиков А.Ф., Ивашенко В.А. Управление электроснабжением промышленных предприятий. Саратов: Издательский Центр «Наука». 2008. 183 с.
9. Балюта С. М., Йовбак В.Д., Копилова Л.О., Корольов Є.О. Методологічні основи управління споживанням електричної енергії промисловими підприємствами. *Науково-практичний галузевий журнал «Джурор України»*. 2015. № 4 (112). С. 22—30.
10. Du K.L., Swamy M.N. S. Neural networks and Statistical Learning. Springer. 2014. 824 p.
11. Ben Krose, Patrick van der Smagt. An introduction to Neural Networks. The University of Amsterdam. 1996. 124 p.
12. Rodrigues P.P., Gama J. A system for analysis and prediction of electricity-load streams. *Intelligent Data Analysis*. No. 13. 2009. P. 477—496.