

# Автоматизоване управління електроспоживанням

**С.М. Балюта**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

**В.Д. Йовбак**, кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

**Л.О. Копилова**, інженер кафедри теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій

В статті представлені результати дослідження процесу керування електроспоживанням промислового підприємства на основі методів системного аналізу з метою підвищення ефективності використання електроресурсів шляхом розробки схем, методів і алгоритмів керування електроспоживанням. Запропоновані структурні схеми, методи і алгоритми управління електроспоживанням промислового підприємства (ПП) з використанням споживачів регуляторів (СР). Для прогнозування електроспоживання ПП використана штучна нейронна мережа у вигляді багатшарового персептрона. Сформульовані вимоги до організаційно-технічного забезпечення управління електроспоживанням ПП.

Ключові слова: електроенергія, керування, електроспоживання, споживачі-регулятори, алгоритм, штучна нейронна мережа.

The article presents the results of the study of the process of controlling the consumption of industrial enterprises on the basis of systems analysis methods in order to increase the efficiency of the use of electric resources by developing schemes, methods and algorithms of power consumption management. The proposed structural schemes, methods and algorithms for controlling the consumption of an industrial enterprise (PP) with the use of regulators consumers (SRs) are proposed. In order to predict the electricity consumption of the PP, an artificial neural network is used in the form of a multilayer perceptron. Formulated requirements for organizational and technical support for managing the consumption of PP.

Keywords: electric power, control, power consumption, consumers-regulators, algorithm, artificial neural network.

**П**роблема управління споживанням електричної енергії є актуальною для цукрової промисловості, оскільки її вирішення дозволяє зменшити втрати електроенергії при її транспортуванні і енергоемність продукції, яка випускається підприємствами галузі, підвищити ефективність використання генеруючих потужностей.

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

Питанням керування електроспоживанням присвячені ряд робіт [1–6]. Розглянемо деякі з них. У статті [1] представлено програмне забезпечення систем комерційного обліку ЕЕ і комплексу технічних засобів «Енергоміра». Воно представлено сукупністю програмних модулів для організації комерційного обліку ЕЕ на енергетичних об'єктах. В якості таких об'єктів можуть виступати енергетичні компанії, районні електричні мережі, підстанції та інші споживачі ЕЕ.

Програмне забезпечення комплексу технічних засобів «Енергоміра» включає:

- автоматичне робоче місце диспетчера, яке 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 та формування баз даних;

- програми адміністрування комплексу технічних засобів для визначення параметрів пристроїв системи.

Аналіз робіт [1, 2] показав, що програмне забезпечення, представлене в них, створено різними організаціями, які не взаємодіють між собою при його створенні. Це викликає істотні ускладнення зі спільного використання даного програмного забезпечення.

В 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 по архітектурі «клієнт – сервер». Вона дозволяє підтримувати довільну кількість клієнтських комп'ютерів з автоматичними робочими місцями диспетчера. Однак в даний час цією системою 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 і моніторингу електричних навантажень промислових підприємств в режимі реального часу. Аналіз робіт [4–6] показує, що розглянуті в них системи виконують функції контролю електричної потужності і ЕЕ. Ці системи не реалізують функцій нормування, планування, прогнозування та оптимізації керування електроенергетикою промислових підприємств, що дозволяють отримати основний економічний ефект.

**Завдання оперативного управління електроспоживанням промислового підприємства** полягає в необхідності мінімізувати сукупність наступних критеріїв [9]:

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

- 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

$$\sum_{i=1}^{I_1} P_{i1}(t) - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{I_j} P_{ij}(t) k_{ij} \leq P_{orp}; \quad (4)$$

- за реактивним навантаженням підприємства

$$Q_{bx}(t) \leq \sum_{i=1}^{I_1} \left[ Q_{i1}(t) - \sum_{g_{i1}=1}^{G_{i1}} Q_{g_{i1}}(t) h_{g_{i1}} \right] \leq Q_{\max}(t); \quad (5)$$

- за напругою на приймачах електричної енергії

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

Для виключення зривів 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 дозволяють адаптувати завдання до реальних умов, які склалися на виробництві.

Синтез системи керування базується на представленні підсистеми у вигляді сукупності взаємопов'язаних структур: підтримки прийняття рішень, функціональної, організаційно-технічної та інформаційної.

**Системний аналіз процесу керування електроспоживанням промислового підприємства.** Представимо процес керування електроспоживанням у вигляді сукупності взаємопов'язаних відображень:

$$\forall b_n \exists \chi_n(K_n, T_n): P_n \rightarrow P_{n+1}; \quad (7)$$

$$B_l \in B = \{b_l, l = 1, \dots, L\}; \quad (8)$$

$$K_n \subset K = \{k_l, l = 1, \dots, L\}; T_n \subset T = \{t_m, m = 1, \dots, \}; \quad (9)$$

$$P_n, P_{n+1} \subset P = \{p_g, g = 1, \dots, G\} \quad (10)$$

де  $B$  – дії, які виконуються під час керування електроспоживанням;  $b_1$  – реєстрації і перевірки на достовірність вимірювальної інформації;  $b_2$  – вибору моделі і прогнозування витрати ЕЕ підприємства і виробничих підрозділів;  $b_3$  – нормування та планування електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів на основі прогнозних значень, складання електричного балансу по підприємству;  $b_4$  – порівняння фактичного і запланованого електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів за певний період і прийняття рішень по керуванню електроспоживанням підприємства;  $\chi_n$  – функція відображення процесу керування при виконанні  $b_n$ -ї дії;  $K$  – умови реалізації всіх функцій керування електроспоживанням підприємства;  $k_1$  – нормативні акти по витраті ЕЕ споживачами;  $k_2$  – умови договору на електропостачання ПХП;  $k_3$  – метрологічні вимоги до приладів обліку ЕЕ;  $k_4$  – вимоги до точності прогнозу споживання ЕЕ;  $T$  – організаційно-технічні засоби та структури, які використовуються для реалізації функцій керування;  $t_1$  – інформаційно-обчислювальний комплекс служби головного енергетика;  $t_2$  – енергодиспетчер;  $t_3$  – електроцех;  $t_4$  – головний енергетик;  $t_5$  – датчики та вимірювальні пристрої обліку ЕЕ;  $P$  – вхідні і вихідні інформаційні потоки, які використовуються в процесі керування електроспоживанням ПП;  $p_1$  – дані середньодобової температури навколишнього середовища;  $p_2$  – дані по електроспоживанню підприємства і виробничих підрозділів;  $p_3$  – дані про обсяги продукції, виробленої підприємством;  $p_4$  – ліміти електроспоживання підприємства;  $p_5$  – достовірна інформація про середньодобову температуру навколишнього середовища;  $p_6$  – достовірна інформація про електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів;  $p_7$  і  $p_8$  – прогнозні і планові значення електроспоживання виробничих підрозділів;  $p_9$  – прийняті рішення з керування електроспоживанням підприємства.

З урахуванням введених позначень функції, що відображають процес керування електроспоживанням ПП приймуть вигляд:

$$\chi_1(k_3, t_1, t_2, t_5): (p_1, p_2) \rightarrow (p_5, p_6) \quad (11)$$

- для дії  $b_1$  – реєстрації і перевірки на достовірність вимірювальної інформації, що використовується при управлінні електроспоживанням підприємства;

$$\chi_2(k_1, k_4, t_1): (p_3, p_5, p_6) \rightarrow p_7 \quad (12)$$

- для дії  $b_2$  – вибору моделі і прогнозування добового споживання ЕЕ підприємством і виробничими підрозділами;

$$\chi_3(k_1, t_1, t_2): (p_3, p_7) \rightarrow p_8 \quad (13)$$

- для дії  $b_3$  – нормування і планування витрат ЕЕ підприємством і виробничими підрозділами ПП на основі прогнозованих значень їх електроспоживання;

$$\chi_4(k_1, k_2, t_1, t_2, t_3, t_4): (p_4, p_6, p_8) \rightarrow p_9 \quad (14)$$

- для дії  $b_4$  – порівняння фактичного і планового електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів за поточний місяць; прийняття рішень по управлінню електроспоживанням підприємства.

Взаємодія між окремим діями процесу керування відбувається через інформаційні потоки.

#### Планове керування електроспоживанням (ЕСП)

Планування потужності споживачів ПП проводиться шляхом виявлення споживачів – регуляторів ЕЕ у нормальному режимі (СРн) і у вимушеному режимі, який реалізується при впровадженні обмежень з боку енергопостачальної організації (визначення споживачів – регуляторів ЕЕ вимушеного режиму

(СРВ) з метою визначення можливостей регулювання навантаження при мінімізації електроспоживання [8].

Алгоритм керування електроспоживанням промислового підприємства

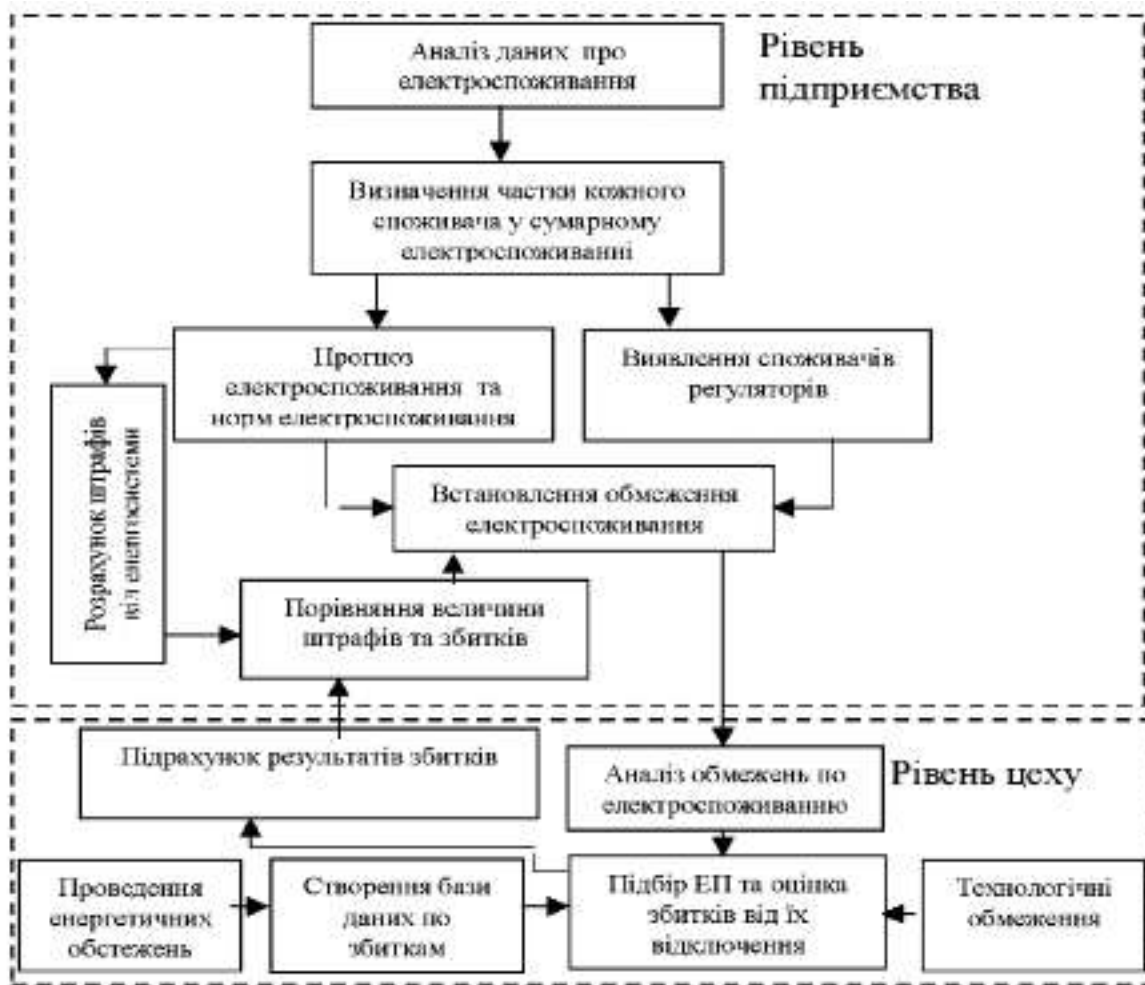


Рис. 1. Алгоритм керування електроспоживанням ПП

Для реалізації планового керування ЕСП запропонований наступний алгоритм керування режимом електроспоживання промислового підприємства (рис. 1) шляхом зміни режиму роботи електроспоживаючого обладнання СР (відключення або переведення СР на режим роботи з меншим навантаженням) [7].

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

$$M_1 = \{W_{np} \geq W_L^B\}, \quad M_2 = \{W_L^H < W_{np} < W_L^B\} \quad (15)$$

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 і таке інше.

Кожній з виділених підмножин ставиться у відповідність сукупність керуючих впливів. Попадання контрольованого параметра  $W_{np}$  в кожен з виділених підмножин  $M_1, M_2, M_3$  призводить до формування відповідного керуючого впливу.

Керування режимом ЕСП полягає у виконанні таких дій:

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

**Прогнозування електроспоживання промислового підприємства на основі штучної нейронної мережі (ШНМ)**

Для побудови математичної моделі електроспоживання приймаємо ШНМ у вигляді багат шарового перцептрона. При цьому вхідний шар містить кількість елементів (нейронів), що відповідає сумарній кількості ретроспективних даних, які включають добове електроспоживання та середньодобову температуру за робочі дні року, попереднього до того на який виконується прогноз, коефіцієнт зміни обсягів виробленої підприємством продукції за попередній рік, а вихідний шар містить елементи (нейрони), що визначають прогнозні значення електроспоживання.

Для прогнозування електроспоживання використовуємо один прихований шар перцептрона з числом елементів, що дорівнює напівсумі елементів вхідного і вихідного шарів перцептрона

$$n_H = \left[ (n_X + n_Y) / 2 \right], \tag{16}$$

де  $n_H$  – кількість елементів в прихованому шарі, а  $n_X$  і  $n_Y$  – кількість елементів у вхідному і вихідному шарах перцептрона.

Сукупність вагових коефіцієнтів перцептрона представляється синоптичною картою  $W$ , вага зв'язку між кожним нейроном сусідніх шарів позначається як  $w_{ij}^1, w_{ij}^2$ , де  $j$  – порядкові номери нейронів в початковому і кінцевому шарі відповідно:  $W_1, \dots, W_N$  і  $T_1, \dots, T_N$  – вхідні значення добового споживання електроенергії і середньодобової температури навколишнього середовища за минулий рік;  $K_{npi}$  – коефіцієнт зміни обсягів виробництва;  $Y'_1, \dots, Y'_N$  – вихідні сигнали ШНМ, відповідні прогнозні значення електроспоживання.

Для отримання необхідної точності прогнозів вибірка даних включає послідовність навчальних пар образів по споживанню ЕЕ підприємством і метеорологічних даних за чотири роки.

Ретроспективна вибірка значень електроспоживання ПП включає послідовність навчальних пар образів  $L^m (K^m, Y_b^m)$ :

-  $K^m = [W_1^j, \dots, W_k^j, T_1^j, \dots, T_k^j]$  – вхідний вектор даних, що подаються на вхід перцептрона (вхідні сигнали);

-  $Y_b^m$  – вектор бажаних прогнозних значень для  $L^m, m = 1, 2, \dots, N$  ( $N$  – кількість навчальних наборів даних).

Для забезпечення стабільної роботи перцептрона прийнята сигмоїдальна функція активації.

Оцінка якості роботи перцептрона виконується за співвідношенням:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^R \varepsilon^j; \quad \varepsilon^j = \left| Y_{np}^j - Y^j \right|^2, \tag{17}$$

де  $\varepsilon$  – похибка навчання, а  $Y_{np}^j$  і  $Y^j$  – значення прогнозованого і фактичного виходів перцептрона.

Для навчання ШНМ використаний комбінований алгоритм навчання, що об'єднує метод (алгоритм)



Рис. 2. Результат прогнозування за допомогою перцептрона



зворотного поширення помилки з методом (алгоритмом) Коші. Для підстроювання вагових коефіцієнтів використовувався вираз

$$\Delta w_{lm}^{(k)} = -\zeta \partial \varepsilon / \partial w_{lm}, \quad (18)$$

де  $w_{lm}$  – ваговий коефіцієнт синаптичного зв'язку між  $l$ -м нейроном

$k$ -го шару і  $m$ -м нейроном  $k$ -то шару;  $\zeta$  – коефіцієнт швидкості навчання.

Для виходу з локальних мінімумів, які виникають при методі зворотного поширення помилки додатково застосовувався статистичний метод навчання – машина Коші [11], при якому проводять випадкову зміну вагових коефіцієнтів ШНМ. Це дозволило отримати алгоритм, за яким досить швидко знаходиться глобальний мінімум помилки навчання. На рис. 2 представлені результати прогнозування з використанням перцептрона.

### 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.



Рис. 3. Структура підсистеми автоматизованого керування електроспоживанням ПП.

**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 в 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 і Отримані дані містяться в БД з управління витратою ЕЕ і обчислені на їх основі сумарні планові витрати ЕЕ по невиробничим підрозділам 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 виробничим підрозділам, формуються керувальні впливи (КВ) – варіанти рішень з керування електроспоживання промислового підприємства, які забезпечать виконання вимог енергосистеми. Загальна схема процесу прийняття рішень з використанням діалогової підсистеми підтримки прийняття рішень представлена на рис. 4.

Процедура оперативного управління режимом ЕСП підприємства [9] полягає у наступному. При нормальному режимі функціонування через фіксовані проміжки часу  $\Delta t$  керувально-обчислювальний комплекс проводить опитування датчиків, визначення поточної витрати електроенергії і обчислення фактичних навантажень по підприємству  $P$  і окремим електроприймачам  $P_j$ .

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

Рішення приймаються в залежності від прогнозного значення навантаження  $P_{np} \in P$ .



Рис. 4. Блок схема процесу прийняття рішень з керування електроспоживанням з використанням діалогової підсистеми.

Вся множина можливих значень навантаження розбивається на ряд непересічних підмножин:

$$\Omega_1 = \{P_{np} \geq P_L^B\}; \tag{19}$$

$$\Omega_2 = \{P_L^H < P_{np} < P_L^B\}; \tag{20}$$

$$\Omega_3 = \{P_L^H \geq P_{np}\}, \tag{21}$$

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

Кожній з виділених підмножин ставиться у відповідність сукупність керуючих впливів (КВ). В якості обмеження навантаження виступає заявлена підприємством на даний квартал максимальна потужність  $P_{max}^k$ .

При побудові системи управління електроспоживання доцільно використати метод розпізнавання станів СЕП, доповнений методами ідентифікації станів СЕП із застосуванням нейронечіткої 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 рішення задачі 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.

Для керування електроспоживанням з використанням прогнозних значень електроспоживання та нормованих (планових значень) витрат електричної енергії на виробництво продукції використовується алгоритм, представлений на рис. 5.

**Апаратна і програмна сумісність технічних засобів системи управління керування електроспоживанням.**

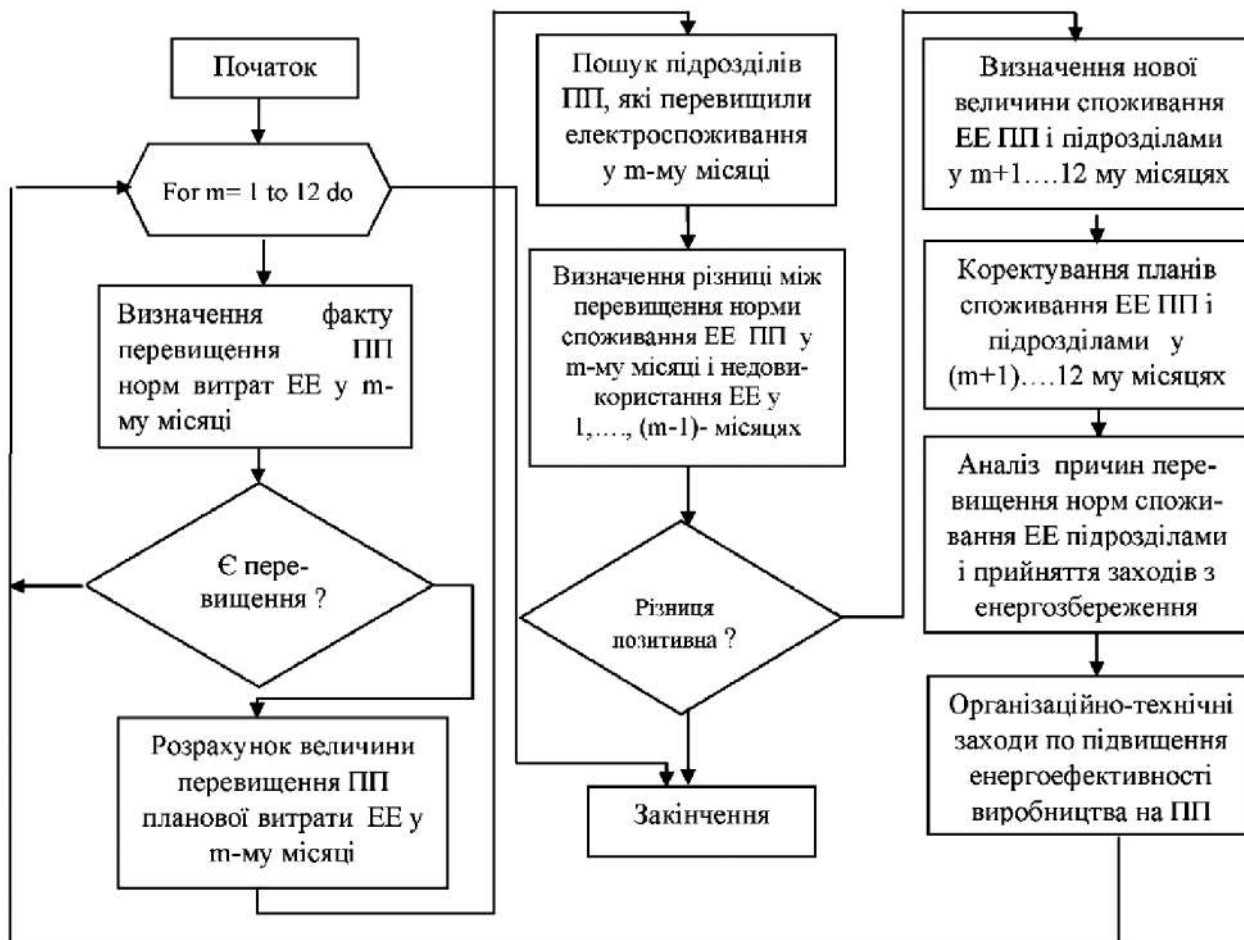


Рис. 5. Алгоритм керування електроспоживанням з використанням прогнозних значень електроспоживання та нормованих (планових значень) витрат електричної енергії.

В 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 та ін.

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

- CASE-засоби [10]: BPwin, ERwin (Logic Works), Rational Rose (Rational Software) та ін.;
- SCADA-системи [11]: InTouch, InTrack, InBatch, InSupport (Wonderware); Genesis (Iconics); Citect (Ci Technologies); КРУГ-2000 (НПФ «Коло»); Trace Mode (AdAstra) та ін., що дозволить систематизувати й ав-



томатизувати всі етапи розробки ПЗ і забезпечити уніфікацію проектних рішень і полегшують 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, і, програмованих за допомогою SCADA-ПАКЕТ.

### Висновки

1. Побудова автоматизованої системи керування електроспоживанням проводиться на основі системного аналізу процесу керування електроспоживанням, що дозволяє визначити етапи керування, керувальні дії, інформаційні потоки і умови реалізації керувальних дій.

2. Формування дій по керуванню електроспоживанням проводиться на основі прогнозних значень електроспоживання, які визначені за допомогою багатопроменного пресеппрона навченого з використанням методу зворотного поширення помилки і алгоритму Коші.

3. Керування електроспоживанням проводиться з використанням споживачів регуляторів, які визначаються за евристичним алгоритмом.

4. Прийняття рішень з керування електроспоживанням реалізується з використанням діалогової підсистеми підтримки і прийняття рішень. ■

### Список використаних джерел

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