

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК (641.53:534.321.9)-047.84 (045)

*Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор¹
Омельченко О. В., канд. техн. наук¹*

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОВУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

UDC (641.53:534.321.9)-047.84 (045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor¹
Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹*

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rig, Ukraine), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

ENERGY EFFICIENCY OF THE BAKERY PRODUCTS ENTERPRISES

Мета. Метою статті є розв'язання актуального наукового завдання автоматизованого управління траєкторією електроспоживання підприємства з виробництва хлібоулочних виробів у періоди обмежень енергосистеми за рахунок розробки системи інтелектуального управління і прогнозування активної та реактивної потужностей.

Методи. Для вирішення поставлених завдань в роботі використано методи теорії випадкових процесів, штучного інтелекту, векторної оптимізації і статистичного моделювання, а також спеціалізовані програмні засоби для прогнозування витрат реактивної та активної потужностей підприємства.

Результати. Розроблено інтелектуальну систему управління електроспоживанням промислового підприємства з виробництва хлібоулочних виробів у періоди обмеження потужності енергосистеми.

Ключові слова: електроспоживання, інтелектуалізація, виробництво хліба, енергоефективність, прогнозування, реактивна потужність.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності управління режимами електроспоживання підприємств харчової промисловості України за рахунок впровадження новітніх систем цифрового управління енергоспоживанням, автоматизації технологічних процесів управління виробництвом хліба в періоди обмеження енергосистеми, використання сучасних технічних засобів, математичних моделей і методів прогнозування є народногосподарським завданням, яке стоїть перед науковцями Дніпропетровської області.

Економія електричної енергії на всіх стадіях її життєвого циклу (виробництво, передача, розподіл і споживання) складає найважливішу проблему енергетики України. Ефективне використання електроенергії на рівні промислових підприємств харчової промисловості є однією зі складових цієї проблеми. Це обумовлено зростанням цін на електроенергію і зростанням її частки в собівартості продукції, яка для цих підприємств досить висока і може досягати 25–35 % і більше.

Отже, підвищення ефективності управління режимами електроспоживання підприємства харчової промисловості на основі оптимізації основного електротехнічного обладнання є сучасним актуальним завданням, яке стоїть перед енергоменеджментом підприємств.

Для цих цілей на практиці широко використовують автоматичні системи управління електропостачанням, в основу побудови яких покладені математичні методи, моделі, алгоритми і сучасні апаратно-програмні засоби. Це дозволяє звести до мінімуму

Надійшла до редакції 05.10.2017 р.

© В. П. Хорольський, О. В. Омельченко, 2017

штрафні санкції за порушення встановлених лімітів на електричну потужність (активну і реактивну).

Встановлено, що витрати електроенергії, пов'язані із втратами активної потужності в електричній мережі підприємства, нестабільність напруги на електроприймачах тощо вимагає від проєктантів впровадження ефективних систем енергоменджменту [1; 2].

Для підвищення енергоефективності підприємств будь-якої галузі промисловості, на думку авторів наукових праць [1–4], перспективними дослідженнями є:

— математичні моделі і алгоритми управління режимами електроспоживання промислових підприємств; дослідження активних і реактивних електричних навантажень підприємства, значення напруги у вузлах електромережі підприємств та оцінка втрат потужності в її елементах від перетікань реактивної потужності;

— розробка автоматизованих систем інтелектуального управління енергоспоживанням підприємств, призначених для роботи в реальному масштабі часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над науковою проблемою ефективності систем енергопостачання підприємств різних галузей працювали В. Є. Шестеренко [4], Б. І. Кудрін [5]. Стратегію розвитку енергетики України до 2030 року розроблено вченими АН України [6], що свідчить про пріоритетний напрямок державної політики щодо енергозбереження. Системи автоматизованого обліку й управління електроспоживанням підприємств на базі сучасних SCADA систем розглянуто М. М. Черемісіним [7]. У реферованих працях доведено, що ефективність процесів електрозбереження у багатьох випадках залежить від удосконалення систем контролю витрат електрики і автоматизації енергоємних технологічних процесів виробництва продукції. Разом з тим ефективність споживання електрики залежить від багатьох невирішених питань, серед яких: автоматизація електропостачання, вміння проєктантів спроектувати системи інтелектуального управління інваріантними до збурень технологічними процесами в періоди обмежень потужності енергосистеми та віялових відключень. Крім цього, на наш погляд, відсутні дослідження щодо розробки багаторівневих систем управління електроспоживанням хлібозаводів великої потужності із впровадженням інтелектуальних систем управління реактивними та активними потужностями підприємства у періоди «пік», «напівпік» та «ніч».

Метою статті є розв'язання актуального наукового завдання автоматизованого управління траєкторією електроспоживання підприємства з виробництва хлібобулочних виробів у періоди обмежень енергосистеми за рахунок розробки системи інтелектуального управління і прогнозування активної та реактивної потужностей.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

— дослідити процес управління електроспоживанням підприємства як системи прогнозування активної та реактивної потужностей;

— побудувати інтегровану інтелектуальну систему управління електроспоживанням підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Корпоративні підприємства ПАТ «Криворіжхліб», ПАТ «Перший хлібозавод» відносяться до середніх споживачів електрики. Більшість технологічних виробництв електропостачання цих підприємств згідно з ПУЕ відносяться до II категорії електроприймачів [3; 4; 5; 6].

У цілому електричне господарство (ЕГ) підприємства та траєкторію електроспоживання можливо описати системою залежностей виду:

$$EG = \{P_{\max}, K_{\text{ПОП}}, T, D, P_{\text{сеп}}, A_{\text{П}}, A_{\text{ЕП}}\}, \quad (1)$$

де P_{\max} — півгодинний максимум навантаження підприємства; $K_{\text{ПОП}}$ — коефіцієнт попиту; T — річна кількість годин використання максимального навантаження T_{\max} (год); D — кількість встановлених електродвигунів (шт); $P_{\text{сеп}}$ — потужність двигунів, в умовних електродвигунах, кВт; $A_{\text{П}}$ — електроозброєність праці (МВт·год/осіб); $A_{\text{ЕП}}$ — продуктивність праці електротехнічного персоналу (МВт·год/осіб).

Економія електроенергії на вищеперерахованих підприємствах харчової промисловості України на усіх стадіях виробництва продукції також обумовлена зростанням у

2017 році цін на енергоносії, а отже, зростанням її частки у собівартості продукції, яка для енергоємних технологій випікання хліба складає 30 й більше відсотків. Особливістю сучасного управління електроспоживанням підприємств харчової промисловості є впровадження систем енергоменеджменту і автоматизованих систем контролю й обліку електроенергії (АСКОЕ). Усі криворізькі підприємства галузі розраховуються з ПАТ «ДТЕК ДНПРООБЛЕНЕРГО» за спожиту електроенергію за тризонним тарифом [4; 5], тобто: 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми (з 8 до 11 години і з 20 до 22 години); повний тариф у напівпіковий період (з 7 до 8 години, з 11 до 20 години, з 22 до 23 годин); 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23 до 7 години). Перехід на цей тариф стимулює енергоменеджмент підприємств харчової промисловості до виокремлення деяких цехів (фабрик) в якості енергоспоживачів, диференційованих за категоріями і часом їх роботи впродовж доби.

Іншою особливістю підприємств харчової промисловості є те, що в якості електроприводів найбільш енергоємних технологічних процесів використовуються синхронні двигуни до 500 кВт, асинхронні двигуни потужністю від 5 кВт до 50 кВт і двигуни постійного струму — тиристорні перетворювачі, конденсаторні батареї тощо. З метою аналізу й оптимізації електроспоживання на підприємствах харчової промисловості структуру електричної мережі наведемо у виді множини $J = [j]$, $j = 1, 2, \dots, n$ — рівнів ієрархії, до яких відносяться: вхідні фідери на підприємстві; трансформаторні підстанції; силові трансформатори; групи електроприймачів, що розподілені на значній території підприємства.

Щоб уникнути виходу контрольованих параметрів потужності за обмеження, встановлені в договорі з енергетичною системою, необхідно управління режимами електроспоживання промислових підприємств здійснювати з використанням прогнозних значень електричних навантажень. Прогнозування електричних навантажень має значний вплив на ефективність ухвалення рішень щодо управління режимами електроспоживання промислового підприємства.

Основним недоліком відомих моделей прогнозування електричних навантажень промислових підприємств є неможливість їх використання в умовах істотної зміни характеру режимів електроспоживання підприємств, що викликається регулюванням активних і реактивних електричних навантажень [2; 3].

Відомо, що прогнозування активних електричних навантажень можливо виконувати за допомогою лінійних і квадратичних регресійних моделей, фільтрів Брауна першого і другого порядків та інших статистичних моделей за визначенням зони використання їх для прогнозування активного електричного навантаження підприємств [2; 3].

Ці моделі дозволяють отримати необхідну точність при прогнозуванні електричного навантаження на $t^* = n \cdot \Delta t = 2 \cdot 5 = 10$ хвилин в межах перепадів навантаження ΔP , що не перевищують 1,2 %.

Необхідна точність прогнозування електричних навантажень промислових підприємств залежить від точності вимірювальних приладів, використовуваних для її контролю, і погрішності, що вноситься при передачі даних з вимірювальних приладів в ЕОМ.

При виборі приладів контролю й обліку споживання електричної потужності та енергії необхідно звертати увагу на забезпечувану ними точність виміру контрольованих параметрів. Для виміру електричних параметрів можна рекомендувати індукційні лічильники з імпульсним виходом і цифрові прилади провідних вітчизняних і зарубіжних виробників: для технічного обліку електроенергії — не нижче класу 1,0, а для комерційного — 0,2S і 0,5S класів.

На теперішній час все частіше знаходять застосування прилади, що забезпечують збір інформації у безпосередній близькості від об'єктів контролю і передачу її в цифровому виді по стандартних комунікаційних середовищах: перетворювачі вимірювальні Е855-М1, Е848-М1, Е849-М1 Вітебського заводу приладів електровимірювань; прилади серії СПЦ 6806 фірм «Електромеханіка»; прилади СЭТ-4ТМ, ЦЭ-6850, ПСЧ-4ТА концерну «Енергоміра»; лічильники електричної енергії серії ЕА02-КАХ-В4, ЕА0511А-В3, ЕА05Е-В3, ЕА10-3 компанії Эльстер Метроника [7].

При використанні на промислових підприємствах для виміру електричного навантаження датчиків загальнопромислового призначення з межами припустимої погрішності $\pm 1,0\%$, а для комутації та перетворення аналогових сигналів — пристроїв, що серійно випускаються, з точністю не гірше $\pm 0,3\%$, алгоритмічна погрішність обчислення і прогнозу електричного навантаження підприємства складе $\pm (1,5-1,6)\%$.

Кращі результати забезпечують інтелектуальні нейромережі (ІНМ) [8–10]. Їх можна використати при глибині зниження навантаження до 1,3–1,5%.

При глибшому зниженні навантаження необхідно використати процедуру корекції, суть якої зводиться до наступного.

Прогнозований процес на відрізку корекції надається у виді:

$$P(t') = P(t) + P_{\Sigma}(t), \quad (2)$$

де $P(t')$ — відкоригований процес, $t' \in [t - k\Delta t; t]$, де k — кількість точок (об'єм) передісторії (цей відрізок називатимемо надалі відрізком корекції); $P_{\Sigma}(t') = \sum_{i=1}^G P_i(t')V_i(t')$ — сумарне навантаження усіх споживачів, режим роботи яких змінювався на відрізку корекції; $P_i(t')$ — навантаження i -го споживача, що змінив режим; $V_i(t') = \{-1; +1\}$ — характер зміни режиму роботи i -го споживача регулятора (СР) до моменту часу: -1 — відключений; $+1$ — підключений; G — кількість споживачів, що змінили режим роботи до теперішнього моменту часу t .

У подальшому виконуємо побудову моделі й обчислення прогнозного значення навантаження $P_{np}(t+t')$.

При використанні процедури корекції доцільно використати для прогнозування електричного навантаження прості моделі, такі як лінійні і квадратичні регресійні, фільтри Брауна першого і другого порядків, що вимагають для своєї реалізації мінімальні витрати часу. Як показав аналіз, виконаний для підприємства ПАТ «Криворіжхліб», ці моделі у поєднанні з процедурою корекції дозволяють забезпечити необхідну точність прогнозування навантаження при $\Delta P = 18-20\%$.

У разі потреби для цих моделей здійснюється визначення верхньої довірчої межі прогнозного значення навантаження:

$$P_B = P_{np}(t+t') + \Delta, \quad (3)$$

де $\Delta = t_{\beta} \sqrt{D[P_{np}(t+t')]}$ — величина довірчого інтервалу прогнозного значення навантаження, $D[P_{np}(t+t')]$ — значення навантаження; t_{β} — критична точка розподілу Стюдента для $k-2$ ступенів свободи і рівня значущості β . Зазвичай в додатках значення β приймається рівним 0,05 [8].

Дисперсія прогнозу для регресійних моделей може бути обчислена за співвідношенням:

$$D[P_{np}(t+t')] = D(\varepsilon') / k' [1 + k + (t+t' - t_{cp}) / \sigma_i^2], \quad (4)$$

де

$$t_{cp} = \frac{1}{k'} \sum_{i=1}^{k'} t'_i \text{ — характеризує центр інтервалу спостереження;}$$

$$k' = \frac{k}{\tau_k} \text{ — об'єм незалежної вибірки;}$$

$$t'_i \text{ — моменти часу, які відповідають точкам незалежної вибірки, } t' \in [t - k\Delta t; t];$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{k'} \sum_{i=1}^{k'} (t'_i - t_{cp})^2 \text{ — розкид точок на інтервалі спостереження;}$$

$$\varepsilon' = P(t') - P_{np}(t), \quad t' \in [t - k\Delta t; t].$$

Для фільтрів Брауна дисперсія прогнозу може бути визначена за виразом:

$$D[P_{np}(t+t')] = D(\varepsilon') \left[\alpha / (2 - \alpha)^3 (1 + 4(1 - \alpha) + 5(1 - \alpha^2) + 2\alpha(4 + 3\alpha)n + 2\alpha^2 n^2) \right], \quad (5)$$

де α — параметр, значення якого у більшості випадків знаходяться в межах 0,2–0,3; $n = 2$. Оптимальне значення α визначається на етапі ідентифікації моделі прогнозування.

При зниженні електричного навантаження більш ніж на 18–20 % можна використати ІНМ. При цьому у поєднанні з процедурою корекції такий підхід забезпечує необхідну точність прогнозування навантаження до 55 % і більше, залежно від способів навчання мережі.

Оскільки характер зміни активних і реактивних навантажень підприємства ПАТ «Криворіжхліб» багато в чому співпадає, то, ґрунтуючись на наведених вище результатах прогнозування активних і реактивних навантажень, нами використані ІНМ у поєднанні з процедурою корекції.

Розглянемо питання вибору структури ІНМ і методів їх навчання для прогнозування реактивних навантажень підприємств харчової промисловості.

При визначенні конфігурації ІНМ необхідно прагнути до зменшення її розмірності, оскільки при великій розмірності навчання мережі займає багато часу, а при недостатній — мережа погано навчається і при функціонуванні видає не задовільні результати.

У основу вибору структури ІНМ для прогнозування реактивних електричних навантажень були покладені такі вимоги:

- у вхідному шарі мережі кількість елементів повинна відповідати довжині передісторії, використовуваної для прогнозу;
- вихідний шар повинен містити один елемент, що визначає прогнозне значення електричного навантаження;
- мережа повинна містити один проміжний шар;
- кількість елементів у проміжному шарі мережі вибирається рівною половині суми елементів вхідного і вихідного шарів.

У результаті дослідження різних ІНМ [9], що задовольняють наведеним вище вимогам, було обрано тришарову конфігурацію мережі для прогнозування реактивного навантаження, у вхідному шарі ІНМ якої знаходиться 4 нейрони, в прихованому — 3, а у вихідному шарі — 1 нейрон. На рис. 1 наведено ІНМ зі структурою 4–3–1.

У системі прогнозування реактивної потужності використано позначення:

$Q_1(t)w_1^1$ — сигнал на виході першого шару;

$(Q_1(t)w_1^1 + Q_2(t)w_2^1 + Q_3(t)w_3^1 + \dots + Q_k(t)w_{k1}^1)f_i$ — сигнал на входах другого шару;

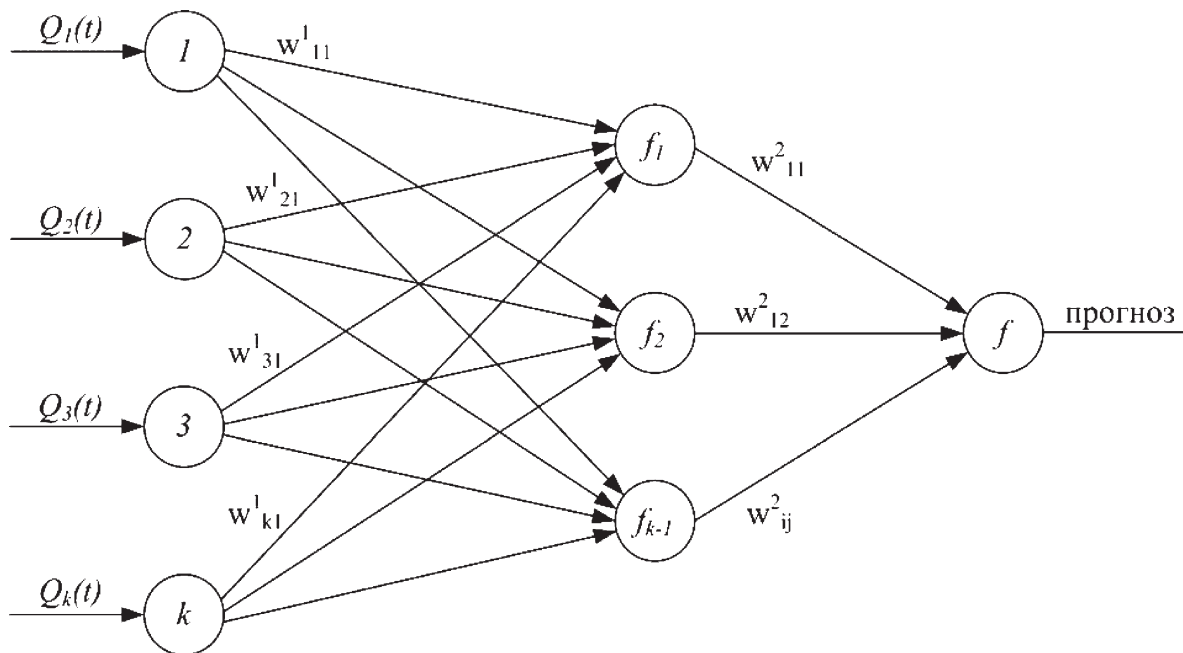


Рисунок 1 — Структура ІНМ для прогнозування реактивного навантаження:

$Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_i(t), \dots, Q_k(t)$ — вхідні та $Q(t + t^*)$ — вихідні сигнали мережі;
 w_{ij}^1, w_{ij}^2 — відповідно вагові коефіцієнти (сигнали) ліній, які зв'язують елементи першого, другого і третього шарів мережі; i, j — номери елементів у першому і другому шарах мережі

$(Q_1(t)w_1^1 + Q_2(t)w_2^1 + Q_3(t)w_3^1 + \dots + Q_k(t)w_{k1}^1)f_1w_1^2$ — сигнал на вході третього шару.

Отже, модель ІНМ прогнозування реактивної потужності, параметри якої визначаються за критерієм мінімуму помилки прогнозу шляхом навчання мережі, запишемо таким чином:

$$\begin{aligned} Q(t+t^*) = & \left[(Q_1(t)w_1^1 + Q_2(t)w_2^1 + Q_3(t)w_3^1 + \dots + Q_k(t)w_{k1}^1)f_1 \right] + \\ & + \left[(Q_1(t)w_2^1 + Q_2(t)w_2^2 + Q_3(t)w_3^1 + \dots + Q_k(t)w_{k2}^1)f_2w_2^2 \right] + \\ & + \left[Q_1(t)w_{1,k+t/2}^1 + Q_2(t)w_{2,k+t/2}^1 + Q_3(t)w_{3,k+t/2}^1 + \dots + Q_k(t)w_{k,t/2}^1 \right] \cdot f. \end{aligned} \quad (6)$$

В якості активаційної функції прихованого (проміжного) і вихідного шарів прийнята сигмоїдальна функція виду

$$f_s = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot s}},$$

де a — деякий параметр; s — зважені суми вхідних сигналів нейронів [9]. Перший (вхідний) шар мережі має $w_{ij} = 1$ та $f_s = 1$.

Цінною властивістю сигмоїдальної функції, істотною для вирішення цього завдання, є її здатність посилювати слабкі сигнали краще, ніж сильні і запобігати насиченню від сильних сигналів. Ця властивість визначається значенням параметра a , який рекомендується призначати рівним або більшим за 1.

Навчання мережі проводилося за допомогою комбінованого методу, побудованого на основі алгоритму зворотного поширення помилки і стохастичних варіантів: методів імітації, методів Больцмана і Коши, зміни вагових коефіцієнтів. Ймовірність збереження таких змін визначається на основі відповідно розподілів Больцмана і Коши. Можливість використання «погіршувальних» змін вагів дозволяє виходити з локальних мінімумів функції помилок [9]. Навчальна послідовність складала 50 вибірок, що формують значення вагових коефіцієнтів входів нейронів, які утворюють мережу. Час навчання ІНМ на комп'ютері Pentium 3200 складав біля 5 с при числі ітерацій (кроків) навчання 600–800.

У зв'язку зі зміною характеру споживання реактивної потужності підприємством параметри моделі прогнозування вимагають періодичної адаптації, яка здійснюється після закінчення кожної доби і супроводжується процедурою перенавчання ІНМ на нових вибірках даних.

У серії випробувань, проведених на модельних даних, помилки прогнозування при зміні реактивного навантаження ΔQ , що дорівнює 1,5 %, не перевищували 1,4 %.

При великих перепадах реактивного навантаження необхідно використати розглянуту вище процедуру корекції. Розглянута методика використана при проектуванні інтелектуальної системи управління електроспоживанням підприємства.

Наведений вище підхід щодо опису електричної мережі дозволяє автоматизувати процес управління траєкторією електроспоживання підприємства ПАТ «Криворіжхліб» на єдиній інформаційній платформі SCADA-систем, АСКОЕ, автоматизованих систем управління електроспоживанням (АСУЕ). У свою чергу, траєкторія електроспоживання підприємств, в умовах обмежень потужності енергосистеми, визначає траєкторію оптимального виробництва продукції за допомогою автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП).

Звідси витікає, що інтегровану автоматизовану систему управління підприємства можливо навести у виді трьох взаємозв'язаних рівнянь управління. Нижній рівень утворюють:

— АСУТП підготовки борошна, приготування опари, тіста, вистоювання, розділення та випікання хліба;

— АСУЕ технологічних операцій і технологічних ліній щодо виробництва хлібобулочних виробів, пов'язаних між собою за допомогою SCADA-систем та автоматизованих систем управління конденсаторними батареями типу регульовані батареї конденсаторів (РБК), джерел реактивної потужності (ДРП) і споживачів-електрорегуляторів (СЕР).

Середній рівень утворюють MES (Manufacturing Execution System) системи, які орієнтовані на інформатизацію задач оперативного планування й управління виробництвом хлібобулочних виробів, оптимізацію виробничих процесів та втрат електроенергії, газу, води, мастильних матеріалів, дизельного палива, контролю й диспетчеризації виконання планів і портфеля замовлень. Верхній рівень автоматизованого управління підприємством (АСУТП) утворюють ERP-системи, які забезпечують рішення стратегічних задач виконання портфеля замовлень виробництва продукції, управління ресурсами, інвестиціями і забезпечують підтримку бізнес-процесів підприємства в цілому [8].

На рис. 2 наведена структура інтегрованої інтелектуальної системи, яка забезпечує оптимізацію виробництва портфеля замовлень споживачів продукції в періоди обмежень електроенергії за допомогою експертних систем (ЕС) шляхом побудови бази даних (БД), бази знань (БЗ), динамічної бази оперативних технологічних даних, динамічної бази оперативного стану енергосистеми та бази правил (БП). Особливістю розробленої системи є інтегрованість ЕС з АСУТП-MES-ERP системи, що забезпечує узгоджену роботу управлінської та інформаційної підсистем АСУ підприємства щодо діагностики проблемних ситуацій, технологічно-енергетичних ситуацій і прийняття рішень P_i , Q_i , команд на пошук оптимальних рішень, визначення СЕР, ДРП.

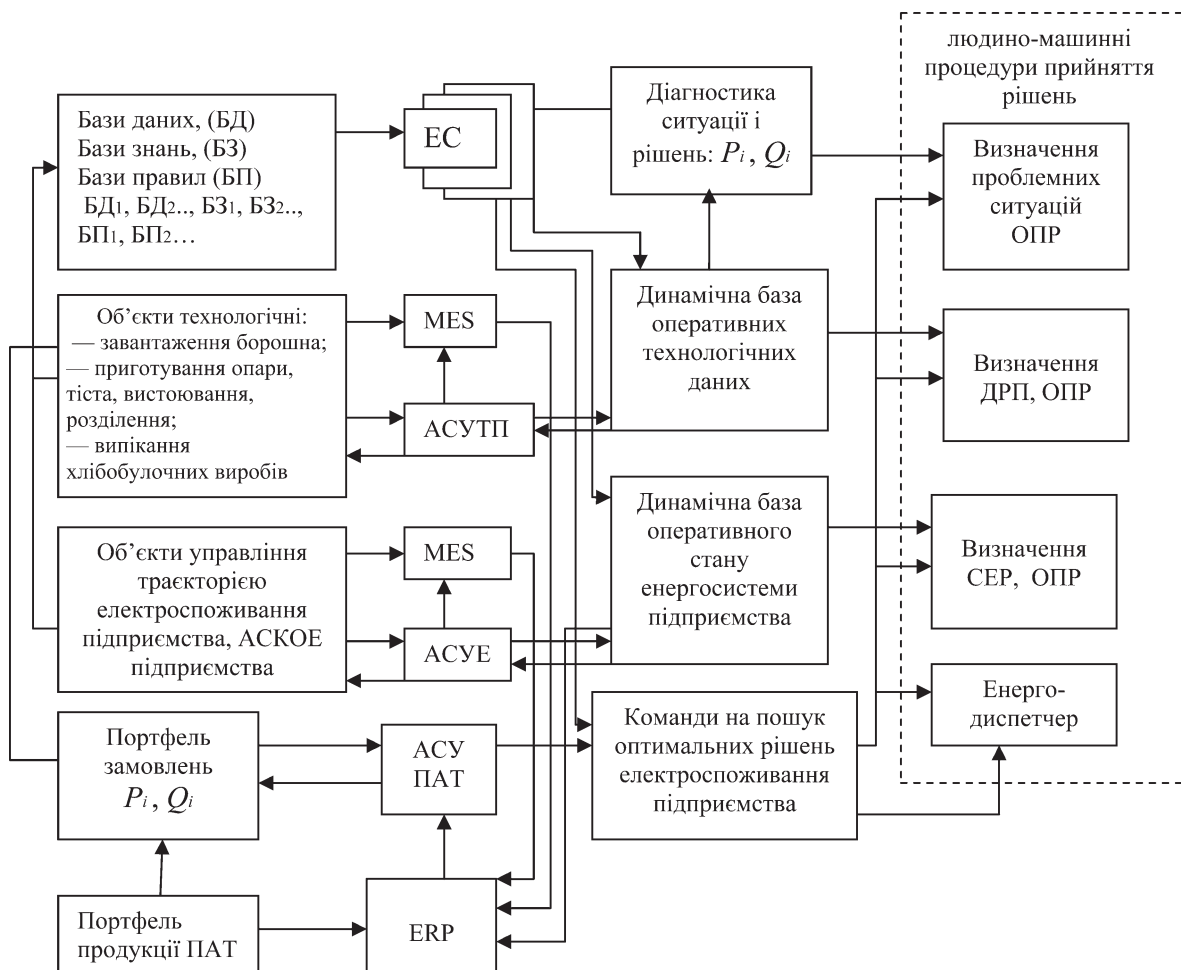


Рисунок 2 — Структура інтегрованої інтелектуальної системи управління електроспоживанням підприємства

У свою чергу, накопичена в SCADA-системах інформація утворює базу даних (БД) для прогнозування як технологічних параметрів виробництва продукції, так і прогнозування параметрів P_i , Q_i за алгоритмами, розглянутими нами раніше.

Таким чином, на основі досліджень параметрів споживання активної та реактивної потужностей для підприємств харчової промисловості розроблено автоматизовану систему узгодженого управління електроспоживанням хлібозаводу в періоди обмежень енергосистемою потужностей за активного і реактивного навантаження. Система дозволяє зменшити втрати виробництва продукції (борошна), води, газу, інших покращувачів якості хліба в періоди «пік», «напівпік» та максимізувати продуктивність комплексу в період «ніч», виконавши «точно у термін» замовлення споживачів.

Висновки. Проведений аналіз існуючих методів, моделей і технічних засобів управління режимами електроспоживання підприємств харчової промисловості показав, що вони мають недостатньо високу ефективність і не можуть повною мірою задовольнити постійне зростання вимог до якості управління електроспоживанням.

Одним зі шляхів підвищення якості управління режимами електроспоживання підприємств харчової промисловості є впровадження на основі системного аналізу об'єктів управління досконалих математичних моделей, методів і засобів управління.

Проведено аналіз функціонування і класифікації електроустаткування підприємств харчової промисловості за характером режимів споживання активної та реактивної електроенергії. Результати цього аналізу використані при побудові адаптивних процедур оперативного прогнозування електричних навантажень підприємства ПАТ «Криворіжхліб», які ґрунтуються на статистичних методах і методах штучних нейронних мереж.

Визначено структури штучних нейронних мереж і методи їх навчання, що забезпечують за наявності достовірної апріорної інформації необхідну точність прогнозування активного та реактивного навантажень вузлів електромережі підприємств.

На основі досліджень параметрів споживання активної та реактивної потужностей для підприємств харчової промисловості розроблено автоматизовану систему інтелектуального управління електроспоживанням хлібозаводу в періоди обмежень енергосистемою потужностей з активного і реактивного навантаження. Система дозволяє зменшити втрати виробництва продукції (борошна), води, газу, інших покращувачів якості хліба в періоди «пік», «напівпік» та максимізувати продуктивність комплексу в період «ніч», виконавши «точно у термін» замовлення споживачів.

Список літератури/References

1. Фокин, В. М. Основы энергосбережения и энергоаудит. — М. : Машиностроение-1, 2006. — 256 с.
2. Фокин, В. М. (2006). *Osnovy energosberezheniya i energoaudit* [Fundamentals of energy conservation and energy audit]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 256 p.
3. Малярченко, В. А. Энергосбережение и энергетический аудит : учебное пособие / В. А. Малеренко, И. А. Немировский ; под. ред. проф. Малярченко В. А. — Харьков : ХНАГХ, 2008. 253 с.
4. Malerenko, V. A., & Nemirovskiy, I. A. (2008). *Energosberezhenie i energeticheskij audit* [Energy conservation and energy audit]. KHar'kov, KHNAAGKH Publ., 253 p.
5. Шумилова, Г. П. Краткосрочное прогнозирование электрических нагрузок с использованием искусственных нейронных сетей / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева // Электричество. — 1999. — № 10. — С. 7–12.
6. Shumilova, G. P., Gotman, N. E., Startseva T. B. (1999). *Kratkosrochnoe prohozirovaniye elektricheskoykh nakhruzok s ispolzovaniyem iskusstvennykh neyronnykh setey* [Short-term forecasting of electric load using artificial neural networks]. *Elektrichestvo* [Electricity], no. 10, pp. 7–12.
7. Шестеренко, В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств : підручник / В. Є. Шестеренко ; Національний ун-т харчових технологій. — Вінниця : Нова Книга, 2004. — 656 с.

Shesterenko, V. Ye. (2006). *Systemy elektrospozhyvannya ta elektropostachannya promyslovykh pidpryyemstv* [The power consumption system and power supply of industrial enterprises]. Vinnytsia, Nova Knyha Publ., 656 p.

5. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. — М. : Интернет Инжиниринг, 2007. — 672 с.

Kudrin, B. I. (2007). *Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatiy* [Power supply of industrial enterprises], Moscow, Internet Inzhenering Publ., 672 p.

6. Енергетична стратегія України на період до 2030 року : Розпорядження КМ України № 145-р від 15.03.2006 р. / КМУ. — К. : 2006 — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/signal/Kr.0614a.doc>.

Cabinet of Ministers of Ukraine (2006). *Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku : Rozporiadzhennia KM Ukrainy vid 15.03.2006 r.* [Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030 : Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 145-p dated 15.03.2006]. Available at : <http://zakon1.rada.gov.ua/signal/Kr.0614a.doc>.

7. Черемісін, М. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням : посібник для вищих навчальних закладів / М. М. Черемісін, В. М. Зубко. — Х. : Факт, 2005, 192 с.

Cheremisin, M. M. (2005). *Avtomatyzatsiya obliku ta upravlinnia elektrospozhyvanniam* [Automation of accounting and control of electricity consumption]. Kharkiv, Fakt Publ., 192 p.

8. Стивенсон, В. Дж. Управление производством / В. Дж. Стивенсон ; пер. с англ. — М. : Издательство БИНОМ ; Лаборатория Базовых Знаний, 1999. — 928 с.

Stivenson, V. D. (1999). *Upravlenie proizvodstvom* [Production management]. Moscow, BINOM Publishing House, Laboratory of Basic Knowledge, 928 p.

9. Методы современной теории автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. — М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. — 784 с.

Pupkova, K. A., Egupova, N. D. (2004). *Metody sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of modern theory of automatic control]. Moscow, Publishing house MG TU named after N. E. Bauman, 784 p.

10. Геловани В. А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В. А. Геловани, А. А. Башлыков, В. Б. Бритков, Е. Д. Вязилов. — М. : Едиториал УРСС, 2001. — 120 с.

Gelovani, V. A., Bashlyikov, A. A., Britkov, V. B., Vyazilov, E. D. (2001). *Intellektualnye sistemy podderzhki priniatiya resheniy v neshtatnykh situatsiiakh s ispolzovaniem informatsii o sostoyanii prirodnoy sredy* [Intelligent decision support in emergency situations using information about the state of the environment]. Moscow, Edytoryal URSS Publ., 120 p.

Цель. Целью статьи является решение актуальной научной задачи автоматизированного управления траекторией электропотребления предприятия по производству хлебобулочных изделий в периоды ограничений энергосистемы за счет разработки системы интеллектуального управления и прогнозирования активной и реактивной мощностей.

Методы. Для решения поставленных задач в работе использованы методы теории случайных процессов, искусственного интеллекта, векторной оптимизации и статистического моделирования, а также специализированные программные средства для прогнозирования расходов реактивной и активной мощностей предприятия.

Результаты. Разработана интеллектуальная система управления электропотреблением промышленного предприятия по производству хлебобулочных изделий в периоды ограничения мощности энергосистемы.

Ключевые слова: электропотребление, интеллектуализация, производство хлеба, энергоэффективность, прогнозирование, реактивная мощность.

Objective. *The aim of this article is the solution of urgent scientific problem of automated control of the electricity consumption trajectory of the bakery products enterprise during periods of restrictions of the power system through the development of intelligent control systems and forecasting of active and reactive power.*

Methods. *For problems solution the methods of theory of random processes, artificial intelligence, vector optimization and statistical modeling, as well as specialized software tools for forecasting costs of the reactive and active powers of the company were used.*

Results. *It was developed an intelligent control system of the electrical energy consumption of the industrial bakery products enterprise during periods of constrained power grid.*

Key words: *power consumption, intellectualization, bread production, energy efficiency, forecasting, power, reactive.*