

УДК 621.316.728.016.24

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.В. ХОРОЛЬСЬКИЙ, К.Г. ТИТОРЕНКО  
Криворізький національний університет

## БАГАТОРІВНЕВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В статті досліджено стан та передумови впровадження інтелектуальних систем управління електроспоживанням підприємств з енергоємними технологіями виробництва залізрудного концентрату і обкотишів. Розроблено способи прогнозування реактивної і активної потужностей підприємства, алгоритм оперативного управління електроспоживанням тих об'єктів, які забезпечують виконання портфеля замовлення металургійних заводів у періоди обмеження потужностей енергосистеми. Доведено, що зменшення енергозатрат підприємств гірничо-металургійного комплексу досягнуто узгодженням інтелектуальних систем керування технологічними процесами видобутку сирової руди, транспортування, подрібнення, здрібнення, класифікації, збагачення, огрудкування і випалення та інтелектуалізацією оперативного електроспоживання цих процесів за допомогою експертних систем та людино-машинних процедур прийняття рішень.

Ключові слова: електроспоживання, прогнозування, нейро-мережа, споживач електрорегулятор, потужність, адаптація, експертна система.

V.P. KHOROLSKYI, D.V. KHOROLSKYI, K.G. TITORENKO  
Kryvyi Rih National University

### MULTILEVEL INTELLIGENT SYSTEM OPTIMIZATION ELECTRIC CONSUMPTION MINING AND DRESSING ENTERPRISES

*Abstract - The paper investigates the status and implementation of intelligent systems preconditions power electric consumption management companies with energy-intensive production technologies of iron ore concentrate and pellets. The methods of forecasting reactive and active power company, electric consumption algorithm for the operational management of the facilities to ensure that the portfolio of metallurgical plants during periods of limitation power grid. It is proved that decrease energy costs of mining and metallurgical complex reached agreement intelligent process control systems of crude ore transportation, milling, grinding, grading, milling, palletizing and burning and intellectualization operational electric consumption of these processes using expert systems and human-machine procedures of decision making.*

*Keywords: electric consumption, neural network, consumer electro regulator capacity, adaptation, expert system.*

#### Вступ

Розвиток гірничо-металургійного комплексу України до 2020 року пов'язаний з підвищенням якості залізрудної продукції до показників європейських стандартів, зменшення впливу підприємств на навколишнє середовище та оптимізації енергетичних затрат на виробництво одної тонни продукції. Підприємства гірничо-металургійного комплексу України є найбільшими споживачами електрики, газу, дизельного палива, води та інших енергоносіїв в Криворізькому гірничорудному мегаполісі і відносяться до складних технологічних систем [1].

Сучасні Криворізькі підприємства гірничо-металургійного комплексу, об'єднані в Групу «МЕТІНВЕСТ» з відкритим способом видобутку сирової руди і її подальшого подрібнення та збагачення, огрудкування, випалення (агломерації) ПАТ «ПівнГЗК», ПАТ «ЦГЗК», ПАТ «ІНГЗК», ПАТ «ПівдГЗК», є виробниками високоякісного концентрату, агломерату та обкотишів в останні п'ять років накопичили значний досвід, щодо впровадження нових енергозберігаючих технологій та автоматизованого управління складними технологічними процесами за критеріями мінімізації енергоресурсів [2]. Перехід до нових економічних відносин додав до традиційних задач управління електроспоживання (автоматизований облік, нормування, планування) принципово нові, пов'язані з аналізом ефективності обладнання і режимів роботи, оптимізацією і оперативним управлінням технологічними процесом подрібнення та збагачення руди з різними текстурними характеристиками, прогнозом витрат електроенергії, напрямку інвестицій у енергоефективний менеджмент енергетичний аудит тощо[3]. Таким чином в умовах ринкової економіки, постійного підвищення цін на енергоресурси, високої інфляції подальше дослідження закономірностей електроспоживання підприємств гірничо-металургійного комплексу (ГМК) і шляхів удосконалення багатостадійних технологічних режимів електроспоживання та виробництва продукції з метою скорочення питомих енергозатрат є актуальною задачею, яка витікає з Енергетичної Програми України до 2030 року, та впровадження системи енергоменеджменту, яка відповідає міжнародному стандарту ISO 50001/EN16001 [4].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню проблеми теорії і практики управління процесами енергоспоживання гірничо-збагачувальних комбінатів присвячені праці Б. М. Авілова – Карнаухова, В. К. Олейнікова, В. С. Шестеренко, С. В. Кочури, детально проаналізованих автором в [5], в яких розроблена методика нормування витрат електроенергії побудовані причинно-наслідкові зв'язки витрат електрики з технологічними параметрами, які характеризують процес подрібнення, збагачення, агломерації тощо. Цікавий напрямок в оцінці електроспоживання і розрахунку електричних навантажень промислових підприємств розвинуто Б. І. Кудріним [6], який базується на теорії техноценозу і визначення показників

електроспоживання «зверху вниз». Тобто аналіз електроспоживання розпочинається з підприємства в цілому, закінчується окремим технологічним процесом або окремою дільницею, виходячи із визначеної стабільності характеристик електроспоживання групи електроприймачів, що об'єднані загальною технологією. На наш погляд, цей метод на практиці можливо використати для оцінки причин варіації витрат електроенергії, можливих оцінок резервів енергозбереження реального промислового об'єкта, а отже цей метод потрібно використовувати на стадії проектування систем електроспоживання промислових підприємств.

Таким чином, незважаючи на велику кількість наукових праць, питання електроспоживання підприємствами гірничо – металургійного комплексу в періоди обмежень потужності енергосистеми, віялових відключень та дослідження закономірностей формування витрат електроенергії і розробка науково – методичних питань прогнозування, оптимізації оперативного управління електроспоживанням підприємств зі збагачувальним виробництвом є актуальними і потребують подальших досліджень.

Метою статті є підвищення ефективності управління режимами електроспоживання публічних акціонерних товариств з гірничо-збагачувальними технологіями виробництва продукції за рахунок розробки інтегрованих систем інтелектуального керування.

### Викладання матеріалу та результати

Економія електроенергії на підприємствах гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України на усіх стадіях виробництва продукції складає важливу проблему енергетики країни. Ефективне використання електроенергії на рівні промислового підприємства з гірничо-збагачувальним і металургійним виробництвом є однією із складових даної проблеми. Це обумовлено зростанням у 2015 році цін на електроенергію, а отже зростанням її частки у собівартості продукції, яка для енергоємних технологій видобутку сирової руди, дроблення, здрібнення, збагачення, огрудкування, випалення складає 60% і більше [5].

Потреба різкого скорочення цієї частки на 20-30 і більше відсотків на стратегічному періоді до 2020 року – необхідна умова виживання підприємств ГМК в конкурентній боротьбі з російськими виробниками подібної продукції. Ринкова ситуація 2015-2020 років вимагає від корпоративних менеджерів постійної уваги до впровадження сучасних автоматизованих систем управління електропостачанням (АСУЕ), побудованих на базі вітчизняних та імпортованих технічних засобів, спеціального математичного забезпечення управління, яке включає нові інформаційні технології, математичні моделі, методи і алгоритми побудови таких систем.

Інжиніринг задач проектування АСУ підприємств в свою чергу спонукає до побудови інтелектуальних багатоагентних систем управління електропостачанням, зі синхронізацією потоків даних від датчиків витрат електроенергії і технологічних змінних та бізнес-процесів, пов'язаних з використанням портфеля замовлення металургійних заводів і узгодженого управління портфелем замовлень на постачання електроенергії ПАТ «Дніпрообленерго» підприємствам ГМК.

Виробництво концентрату та обкотишів (агломерату) по технологічному ланцюгу кар'єр – дробарка фабрика (ДФ) – рудозбагачувальна фабрика (РЗФ) – фабрика огрудкування та випалення обкотишів (ФОВ) – склад готової продукції є досить складною виробничою системою, стан якої описується  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  вектором технологічних показників. За критеріями: мінімізація енергозатрат, продуктивності процесу по готовому класу – 0,056мм, вмісту масової частки заліза в концентраті, обкотишах, агломераті.

Головним завданням менеджменту підприємств ГМК в ринкових умовах є одержання прибутку з мінімізацією енерговитрат [2]. При цьому задача управління траєкторією електроспоживання підприємствами ГМК теж багатокритеріальна, для якої неможливо використати класичні методи рішень, що пов'язано з нелінійними характеристиками технологічних процесів переробки сирової руди в продукцію із заданими характеристиками якості, високою енергоємністю технологічних режимів подрібнення, здрібнення, класифікація, збагачення, фільтрація, транспортування, огрудкування, випалення, а отже і змінами характеру електроспоживання в періоди доби, декади, тощо.

Особливістю сучасного управління електроспоживанням підприємствами ГМК є впровадження систем енергоменеджменту і автоматизованих систем контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ). Усі криворізькі підприємства ГМК розраховуються з ПАТ «Дніпрообленерго» за спожиту електроенергію за тризонним тарифом [7], 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 години); 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23 до 7 години). Перехід на цей тариф стимулює енергоменеджмент підприємств гірничо-металургійного комплексу до використання технологій адаптації, щодо управління технологічними лініями видобутку сирової руди, її транспортування на дробарну фабрику, подрібнення в конусних дробарках, управлінням завантаженням бункерів збагачувальної фабрики, оптимізація роботи збагачувальної фабрики шляхом узгодженого інтелектуального управління технологічними секціями (трьох стадійними процесами здрібнення, класифікації, магнітної сепарації і фільтрації, транспортування концентрату на склад товарної продукції зі заданими характеристиками замовлення металургійних заводів, або на виробництво обкотишів (агломерату)). Інтелектуалізація і адаптація процесів виробництва продукції забезпечує виробництво

продукції заданої якості і мінімізацію затрат електроенергії з врахуванням збурень текстурних характеристик руди, її спектральних характеристик якості, які виникають результати планування постачання руди на дробарку і збагачувальні фабрики. Оперативне управління процесами календарного планування роботи кар'єрів, дробарних фабрик, збагачувальних фабрик, шламового господарства, агломераційних фабрик (ПАТ«ПівдГЗК», ПАТ«АрселорМіттал Кривий Ріг) і технологічного ланцюга: фабрика огрудкування і випалення обкотишів (ПАТ«ПівдГЗК», ПАТ«ЦГЗК») та технологічного ланцюга кар'єр – дробарна і збагачувальна фабрики з виробництва магнітного концентрату і його доведення до суперконцентрату на флотозбагачувальній фабриці, шламове господарство (ПАТ «ІнГЗК») спонукає енергоменеджерів цих підприємств до виокремлення деяких цехів (фабрик) в якості енергоспоживачів диференційованих за категоріями і часу їх роботи на протязі доби.

Наприклад дробарці фабрики можуть стати в періоди максимального навантаження споживачами електрорегуляторами (СЕР), шламове господарство стає не лише електрорегулятором, але і компенсатором реактивної потужності, що дозволяє знизити вартість електроенергії на 5–10% від лімітних.

Іншою особливістю підприємств ГМК є те, що в якості електроприводів найбільш енергоємних технологічних процесів використовуються синхронні двигуни (СД) потужністю від 2500 кВт до 5000 кВт, асинхронні двигуни потужністю від 5 кВт до 600 кВт і двигуни постійного струму, тиристорні перетворювачі, конденсаторні батареї тощо. З метою аналізу і оптимізації електроспоживання на підприємствах ГМК структуру електричної мережі представимо у вигляді множини  $J = \{j\}, j = 1, \dots, n$  рівнів ієрархії до яких відносяться: 1) вхідні фідери на підприємстві; 2) трансформаторні підстанції; 3) силові трансформатори; 4) групи електроприймачів розподілені на значній території кар'єру, транспортних цехів, дробарної та збагачувальної фабрик, фабрик огрудкування і випалення ( тобто групи електроприймачів, які задіяні від одної секції шин і групи електроприймачів, які задіяні від одного фідера); 5) найбільш енергоємні споживачі (кульові млини, млини самоподрібнення з типовим електроприводом (СД)  $P_{\text{СД}} = 2500 - 5000$  кВт і більше. Для комплексного опису структури електромережі, сукупності елементів  $j$ -го рівня поставимо у відповідності деяку множину чисел натурального ряду, яке будемо називати множиною індексів елементів електромережі підприємства ГМК  $j$ -го рівня  $M_j = \{1, 2, \dots, k, \dots, m_j\}$ .

Тоді структуру електромережі підприємства  $S$  можливо уявити з допомогою наступної сукупності  $\Pi$  бінарних відношень:

$$R_j: S_j \times S_{j+1}, j = 1, 2, \dots, n, \tag{1}$$

де  $S_j, S_{j+1}$  – множини елементів на  $J$ -му і  $J+1$ -м рівнях відповідно.

Отже, система електроспоживання ГМК представляє динамічну стохастичну систему, стан якої в кожний із фіксованих моментів часу  $t = r\Delta t, r = 0, \dots, R$  ( $\Delta t$  – інтервал введення інформації у ІСУЕ) можливо характеризувати набором параметрів (2)

$$X = (P_j, P_{j+1}, F_{\text{СЕР}}, Y_{ij}, K_{ij}, Q_i, Q_{\text{min}}, Q_{\text{max}}, Q_s^{(i)}, Q_w^{(i)}, h_{si}, h_{w\bar{s}}, R_i, U_i, U_{\text{min}}, U_{\text{max}})$$

де  $X$  – простір можливих станів системи електроспоживання підприємства;  $P_j, P_{j+1}$  – відповідно активні максимальні навантаження енергосистеми (1,5 тарифу);  $\bar{s}$ -го вводу та  $J$ -го рівня енергомережі;  $R_{\text{min}}$  – активне навантаження у напівпікокий період,  $R_{\text{max}}$  – відповідно  $\bar{s}$ -го вводу та  $J$ -го рівня енергомережі;  $F_{\text{СЕР}}$  – відповідно  $\bar{s}$ -го вводу та  $J$ -го рівня енергомережі;  $Y_{ij}$  – оцінка питомого збитку від втрати продукції;  $K_{ij}$  – бульова функція, що дорівнює 1, якщо виконується вплив на споживач електрорегулятор (СЕР) електричного навантаження  $j$  – рівня і 0 – у протилежному випадку;  $Q_i$  – реактивна потужність, яка передається по  $i$  - й ділянці електричної мережі підприємства ГМК;  $Q_s^{(i)}$  – реактивна потужність, що виробляє друга і третя стадії здрібнення СД кульових млинів збагачувальної фабрики;  $Q_{\text{min}}, Q_{\text{max}}$  – відповідне мінімальна і максимальне обмеження по реактивній потужності підприємства;  $Q_w^{(i)}$  – потужність джерела реактивної потужності (ДРП) на вводах електричної енергії на підприємстві (кар'єр, дробарка фабрика, як об'єктів споживачів електрорегуляторів (СЕР));  $h_{si}$  – бульова змінна, яка приймає значення 1, якщо  $s$  – секція ДРП включається і 0 – у протилежному випадку;  $h_{w\bar{s}}$  – бульова змінна, яка приймає значення 1, якщо  $w$  – секція ДРП включається і 0 – у протилежному випадку;  $R_i$  – активний опір  $i$ -ї ділянки електромережі;  $U_i$  – напруга у вузлі підключення ДРП;  $U_{\text{min}}, U_{\text{max}}$  – мінімальне і максимальне обмеження за напругою.

У нашому випадку розроблена адаптована система управління підтримання реактивного навантаження і напруги об'єктів електроспоживання ПАТ.

Функція  $K_{ij}$  визначається бульовим виразом виду

$$K_{ij} = a_{ij} \wedge b_{ij} \wedge r_{ij}, \tag{3}$$

де  $a_{ij}, b_{ij}, r_{ij}$  – бульові змінні;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{ споживач може бути використаний для} \\ \text{регулювання активного навантаження;} \\ 0 - \text{ якщо } i - \text{ й споживач не може бути використаний для} \\ \text{регулювання (заперечення на відключення і підключення,} \\ \text{які надходять від енергоменеджера або енергодиспетчера тощо).} \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{ споживач включений;} \\ 0 - \text{ у протилежному випадку.} \end{cases}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{ споживач рекомендовано для регулювання навантаження;} \\ 0 - \text{ у протилежному випадку.} \end{cases}$$

Реалізація управління впливів (УВ), виконується на множині цих параметрів і направлена на мінімізацію втрат збитків від перебоїв у електроспоживанні штрафів за порушення встановлених енергосистемою обмежень по активній і реактивному навантаженню, мінімізації втрат в енергомережі підприємства від перетоку реактивної потужності.

Регулювання активного і реактивного навантажень підприємства ГМК з метою задоволення вимог договору з ПАТ «Дніпрообленерго», зменшення втрат активної електроенергії, обумовлених перетоками реактивної потужності необхідно також для забезпечення першочергових зусиль енергоменеджерів, щодо якості електричної енергії – підтримання рівня напруги у вузлах електромережі підприємства.

У процесі регулювання активного навантаження підприємства ГМК і систематичного його знижені в періоди обмежень потужності енергосистеми не можуть приймати участь ті споживачі електрорегулятори, відключення яких небажано, з точки зору безпеки персоналу, аварійних наслідків, або ця ситуація може привести до суттєвого браку продукції концентрату або обкотишів.

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

Звідси слідує, що інтегровану автоматизовану систему управління ПАТ гірничо-металургійного комплексу можливо представити у вигляді трьох взаємозв'язаних рівнянь управління, нижній рівень утворюють:

- АСУТП-кар'єри, транспортування сирової руди, дробильної фабрики, фабрики збагачення, фабрик огрудкування, випалення;
- АСУЕ – автоматизовані системи управління електроспоживанням цих технологічних операцій і цехів пов'язаних між собою за допомогою SCADA-системи автоматизованих систем управління збудниками СД, ДРП та СЕР.

Середній рівень утворюють MES (Manufacturing Execution System) системи [8], які орієнтовані на інформатизацію задач оперативного планування і управління виробництвом концентрату і обкотишів, оптимізацію виробничими процесами і втрат електроенергії, газу, води, мастильних матеріалів, дизельного палива, контролю і диспетчеризації використання планів і портфеля замовлень металургійних заводів і диспетчеризації електропостачання.

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].

Отже в умовах високих вимог, щодо надійності електропостачання підприємства ГМК потрібно розробляти інтелектуальні системи управління електропостачанням ПАТ. На рис. 1 представлена структура інтегрованої інтелектуальної системи, яка забезпечує оптимізацію виробництва портфеля замовлень металургійних заводів 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 ПАТ і 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.

Нижній рівень (АСУТП, АСУЕ) найбільш інтенсивний по об'єму інформації і самий жорсткий в часі, щодо реакції на збурення, як в енергетичній системі (секунди, а інколи мілісекунди при аварійних ситуаціях енергосистеми) так і в технологічній системі виробництва продукції. В АСУТП, АСУЕ, SCADA-системах накопичується і обробляється велика кількість технологічних енергетичних параметрів і створюється інформативна база вихідних даних для MES-систем.

В свою чергу накопичена в SCADA-системах інформація утворює базу даних (БД) для прогнозування, як технологічних параметрів виробництва продукції, так і прогнозування параметрів  $P_i, Q_i$ . Для прогнозування наприклад  $P_i, Q_i$  в темпі з процесом норми використані штучні нейромережеві моделі (ШНМ) [9].

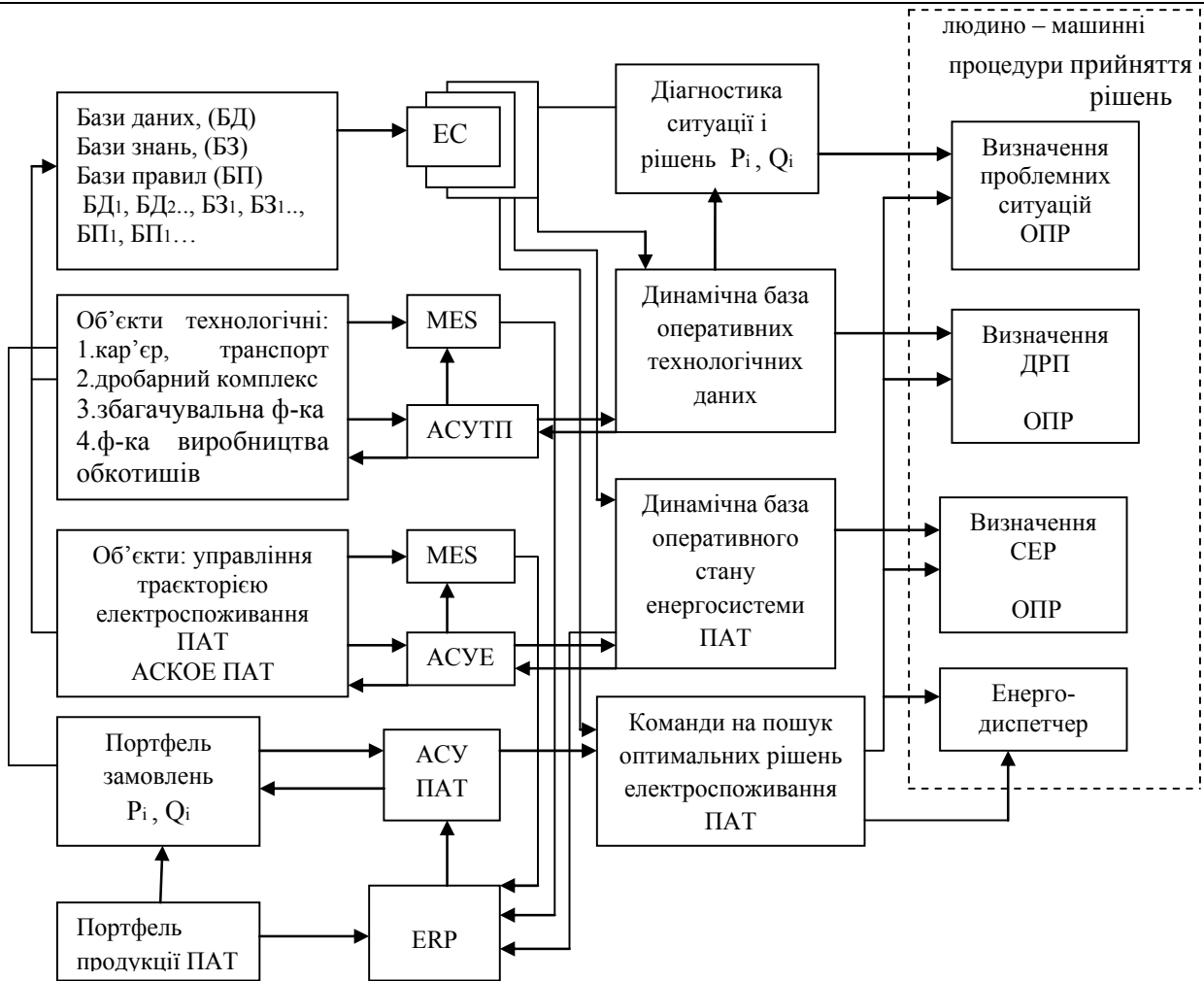


Рис.1. Структура інтегрованої інтелектуальної системи управління електроспоживанням ПАТ

На рис. 2 наведена ШНМ для прогнозування реактивного навантаження ПАТ гірничо-металургійного комплексу, яка складається із трьох шарів мережі на вхід якої надходить  $Q_1, \dots, Q_k$  – сигнали. На виході системи одержуємо  $Q = (t + \tau)$  – вихідні сигнали мережі з ваговими коефіцієнтами  $w_{ij}, w_{kj}$ , які зв'язують елементи першого і другого, другого і третього шарів мережі. Конфігурація мережі для прогнозування реактивного навантаження представляє структуру, у вхідному шарі якої знаходиться 4 нейрони, в середньому 3, а вихідному 1 нейрон: ШНМ зі структурою 4-3-1 (рис. 2). Навчання мережі проведено за допомогою комбінованого методу, послідовність навчальної виробки складає 50 одиниць, час навчання 10 с з числом ітерації кронів навчання 300–500.

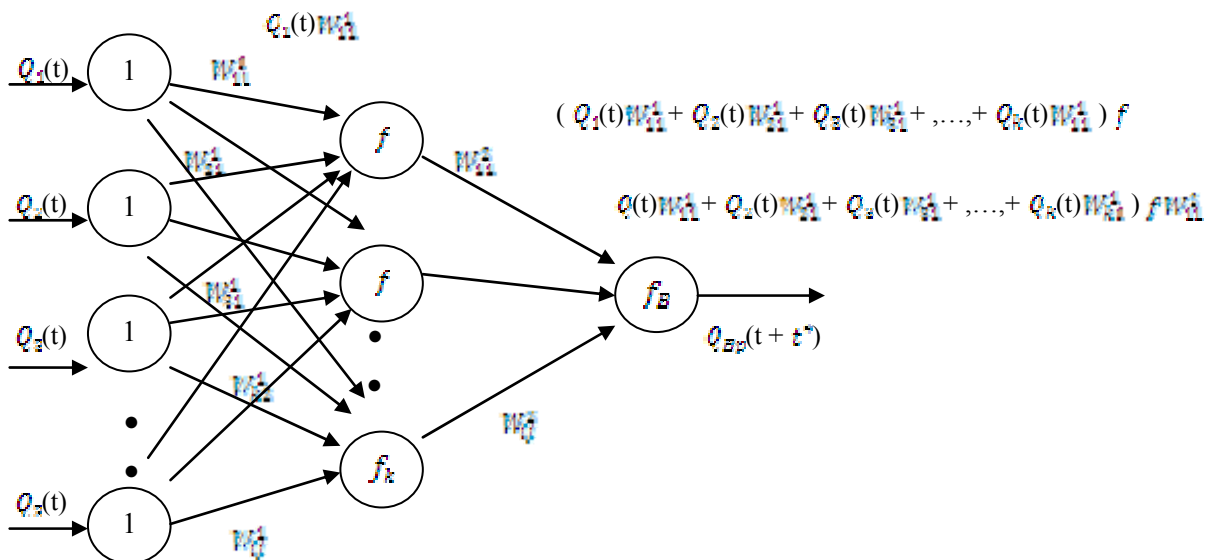


Рис. 2. Структура ШНМ для прогнозування реактивного навантаження



Час навчання ШНМ архітектури 5-3-1 для прогнозування активних навантажень ПАТ при навчанні мережі по алгоритму зворотного розповсюдження помилки складало 6с при 50–250 ітераціях навчання, а по комбінованому алгоритму – 12–16 с при 1000 ітераціях навчання мережі (ПК CELERON1800). Після виконання прогнозу  $P_1, Q_1$  управлінська нейромережева модель видає рекомендації енергодиспетчеру щодо вибору числа ДРП на вводах електричної енергії та за допомогою нечітких регуляторів керує збудниками СД другої і третьої стадій подрібнення кульових млинів збагачувальної фабрики, СД насосів шламового господарства, СД – вентиляторів фабрики огрудкування і випалення обкотишів.

Позитивний досвід застосування нейронних мереж [9] і нечіткої логіки [10] в технології управління збагачувальним виробництвом, нами також використаний при побудові АСУЕ і оперативного диспетчерського управління енергоспоживанням ПАТ. При цьому класифікація проблемних ситуацій, технологічно-енергетичних ситуацій виконано за допомогою відомих алгоритмів розпізнавання [9]. В системі АСУЕ БД, БЗ, БП, динамічна база оперативного стану енергосистеми ПАТ в купі з ЕС утворюють систему нечітких продукційних правил типу: нормальний режим електроспоживання; важкий режим електроспоживання; аварійний, післяаварійний. Продукційні правила мають характер нечітких логічних висновків, наприклад: «Якщо електроспоживання ПАТ (окремих фабрик і дільниць) відповідає нормальному режиму, усі відхилення від умови роботи енергосистеми (енергогосподарства) відповідають заданим і відповідно прогнозним  $P_1, Q_1$ , то виконується ( не виконується ) ОПР корекція для створення найкращого режиму роботи електропостачання. Інший випадок: «якщо в системі електроспоживання існують проблемні ситуації, віднесені ЕС АСУЕ до важкого режиму електроспоживання ПАТ». Продукційне правило у цьому випадку таке: «Якщо електроспоживання ПАТ виконано з  $P_{1доп}, Q_{1доп}$ , то необхідно відключити  $СЕР_1, СЕР_2, \dots, СЕР_n$  і виконати портфель замовлень, щодо виробництва концентрату і обкотишів металургійного заводу»... Якщо в системі електропостачання розпізнані аварійні ситуації, тобто існують аварійні режими роботи, а цей режим електроспоживання характеризується короткими замиканнями, асинхронним ходом, аварійним зниженням частоти, або напруги і ліквідується діями автоматизованих пристроїв [3, 6]. Продукційне правило для аварійної ситуації, наприклад фабрики збагачення, таке: «Якщо не забезпечене якісне електроспоживання РЗФ, то для виконання портфеля замовлення фабрики огрудкування і випалення необхідно послідовно в період  $T_1$  відключити СД першої стадії збагачення, в період  $T_2$  відключити СД другої стадії збагачення, в період  $T_3$  відключити СД третьої стадії збагачення, виконуючи технологічні режими збагачення у відповідності з правилами продукцій для АСУТП РЗФ» [9, 10].

Розглянемо післяаварійний режим. В цьому режимі основні операції, щодо ліквідації аварій в електроспоживанні і переходу до нормального режиму роботи ПАТ виконується ОПР у вигляді правил-продукції розроблених експертами енергоменеджменту ПАТ. Завдання ЕС АСУЕ – організувати своєчасне і повне оброблення поточної інформації з метою визначення стану електроспоживання ПАТ і надання необхідної інформації персоналу (ОПР) для прийняття рішення, щодо відновлення роботи РЗФ, потім ДФ, кар'єру і всіх інших об'єктів електроспоживання підприємства. Отже, підвищення ефективності управління режимами електроспоживання ПАТ з гірничо-збагачувальними технологіями виробництва концентрату і обкотишів досягнуто за рахунок узгодженого управління АСУ технологічними процесами видобутку руди, подрібнення, здрібнення, збагачення огрудкування і випалення і АСУЕ процесів електроспоживання, шляхом побудови ЕС та людино-машинних процедур прийняття рішень, які дозволяють забезпечити вимоги енергогенеруючих компаній по активним і реактивним навантаженням, зниження втрат в електромережах і підтримання напруги у вузлах електроприймачів в межах встановлених норм.

### Висновки

Задачі управління режимами електропостачання публічних акціонерних товариств багаторівневі, для яких неможливо використати класичні методи рішення в зв'язку з постійною зміною в часі умов переробки залізної руди з різними текстурними характеристиками і продукцію (концентрат і обкотиші), а відповідно і характер їх електроспоживання. Для підвищення ефективності управління режимами електроспоживання підприємств гірничо-металургійного комплексу розроблена інтегрована інтелектуальна система управління, яка забезпечує необхідну точність прогнозування активного і реактивного навантажень у вузлі електроприймачів електромережі підприємства. Визначені структури штучних нейронних мереж і методи їх навчання та їх використання в системі АСУЕ для побудови нечітких продукційних правил управління джерелом реактивної потужності та збудниками синхронних двигунів. Розроблений алгоритм альтернативного управління електроспоживанням ПАТ в періоди обмежень енергосистемою потужностей по активному і реактивному навантаженню дозволяє АСУЕ – АСУТП підприємства з мінімізацією втрат забезпечити виконання портфеля замовлень металургійних заводів.

### Література

1. Хорольський В. П. Інвестиційний механізм регіональної політики енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України / В. П. Хорольський, Д. В. Хорольський //

Економіка: проблеми теорії та практики : зб. наук. праць. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2005. – Вип. 200. Том 4. – С. 911–925.

2. Хорольський В. П. Інноваційний менеджмент корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / В.П. Хорольський, С. А. Харін. – Дніпропетровськ : Наука і Освіта, 2008. – 406 с.

3. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств : підручник / Шестеренко В. Є. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 656 с.

4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : розпорядження КМ України від 15.03.2006 № 145-р / КМ України. – К., 2006. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/signal/Kr.0614a.doc>

5. Кочура Е. В. Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергосбережения : дис. ... докт. техн. наук / Е. К. Кочура. – Днепропетровск, 1996. – 331 с.

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

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.

8. Реинжиниринг бизнес-процессов : учебник / Н. М. Абдикеев, Т.П. Донько, С. В. Ильдеменов, А. Д.Киселев. – 2-е изд., испр. – М. : Эксмо, 2007. – 592 с.

9. Хорольський В. П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / В. П. Хорольський // Під редакцією В. П. Хорольського. – Дніпропетровськ : Січ. 2008. – 448 с.

10. Хорольський В. П. Адаптивна система оцінки режимів роботи першої стадії збагачення руди на основі мережних моделей Петрі / В. П. Хорольський, В. Б. Хоцькіна // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2012. – № 33. – С. 142–145.

#### References

1. Khorolsky V. P. Investment Facility regional energy saving policy on mining and metallurgical complex of Ukraine / V. P. Khorolsky, D. V. Khorolsky // *Economy: Issues of Theory and Practice: Coll. Science. works. Dnepropetrovsk: DNU - 2005 - Vol. 200. Volume 4 - s.911 – 925*

2. Khorolsky V. P. Corporate Innovation Management of mining and metallurgical complex / V. P. Khorolsky, S. A. Kharin // *Monograph - Dnepropetrovsk: Science and Education, 2008 - 406s*

3. Shesterenko V. E. systems of power consumption and electricity industry. Tutorial. - Ball: A new book, 2004.- 656s

4. Energy Strategy of Ukraine until 2030: the disposal of Ministers of Ukraine dated 15.03.2006 №145-p / km Ukraine. - K. : 2006. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/signal/Kr.0614a.doc>

5. Kochur E. V. Development nauchnyh bases automation processes magnetic enrichment of ore with a view enerzhoberezhnyya: Thesis. on soysk. uch. Class doctor. Sc. Science. / E. K. Kochura.- Dnepropetrovsk, 1996. - 331s

6. Kudrin B. I. Electric power of industrial enterprises: Textbook for High society studentov uchebnyh wound / B. I. Kudrin - M. : Internet engineering, 2007. - 672s

7. Cheremisin M. M. Automation of accounting and control power consumption: A guide for universities / M. M. Cheremisin, V. M. Zubko. - H. : Fact, 2005. - 192p

8. Abdykeev N. M. Reengineering business processes: Textbook / N. M. Abdykeev, T. P. Daughter, S. V. Yldemenov, A. D.Kyselev. - 2nd ed., Corr. -M. : Eksmo - 2007 - 592p

9. Khorolsky V. P. Integrated intelligent process control in the economic systems of corporate mining and metallurgical complex / V. P. Khorolsky // Edited by V. P. Khorolsky. Monograph. - Dnepropetrovsk: Jan. 2008. - 448p

10. Khorolsky V. P. Adaptive estimation modes of the first stage of ore based on Petri net models / V. P. Khorolsky, V. B. Houkina // *Bulletin of the National University of Krivoy Rog: Coll. Science. works. - Copenhagen - 2012. - №33. - S142-145.*

Рецензія/Peer review : 24.3.2015 р.

Надрукована/Printed :15.4.2015 р.

Рецензент: д.т.н. С. О. Жуков