

Abstract

The traditional method of study of hydrothermal mode of basin-coolers on large-scale physical models for their application in power complexes does not permit to get the whole picture of the processes occurring in the basin, due to the impossibility of accounting of all effecting factors and nonstationarity of processes. The most complete method, covering all aspects of the influence of water supply system in the certain conditions on the efficiency of the power plant operation is connected with the integrated full-size studies, which evaluate the impact of all the indicators of plant operation. Analysis and comparison of the results of full-size modeling studies and calculating methods can detect the reasonability and legality of use of the method as the best test of the correctness of decisions is the study of structures work in natural conditions, i.e. in the course of their operation

Keywords: thermal power-station, nuclear power plant, full-size study, basin-cooler, hydrothermal mode, wind conditions, hydraulic facility

Наведені результати розробки методу нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками на базі застосування нейронечіткої моделі процесу електроспоживання цими підрозділами. Результати промислових випробувань розробленого методу підтверджують ефективність його застосування, що дозволить системно впроваджувати заходи з енергозбереження на гірничозбагачувальних підприємствах

Ключові слова: електроспоживання, нормування, гірничозбагачувальна фабрика, адаптивна нейронна мережа

Приведены результаты разработки метода нормирования электропотребления рудообогатительными фабриками на базе применения нейронечеткой модели процесса электропотребления этими подразделениями. Результаты промышленных испытаний разработанного метода подтверждают эффективность его применения, которое позволит на системном уровне внедрить мероприятия связанные с энергосбережением на горно-обогатительных предприятиях

Ключевые слова: электропотребление, нормирование, горно-обогатительная фабрика, адаптивная нейронная сеть

УДК 621.311.001.57

МЕТОД НЕЙРОНЕЧІТКОГО НОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ РУДОЗБАГА- ЧУВАЛЬНИМИ ФАБРИКАМИ ГЗК

В. П. ЩокінДоктор технічних наук, професор, завідувач
кафедроюКафедра електропостачання та енергетичного
менеджментуКриворізький національний університет
вул. XXII партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

Контактний тел.: 067-796-07-97

E-mail: Shchokin@rambler.ru

1. Вступ

Значна частина основного обладнання гірничозбагачувальних комбінатів України відпрацювала встановлений стандартами термін їх роботи: 80% обладнання - свій проектний ресурс, 52% – перевищило граничний. Це призвело до підвищеної питомої енергоємності виробництва, яка складає 18% від загальної собівартості, разом з тим якість продукції вітчизняних гірничозбагачувальних комбінатів у середньому на 1-3% менша ніж у зарубіжних конкурентів.

У сучасному виробництві заміна близько 50% обладнання на нове в короткі терміни неможлива, разом з тим заміна в широких масштабах обладнання гірничозбагачувальних підприємств не завжди є економічно та практично доцільною. Відповідно до вищевикладеного, найважливіша проблема сучасного

гірничо-видобувного та збагачувального виробництва на найближчі 15-20 років полягає в подовженні надійної та ефективної експлуатації основного технологічного обладнання понад терміни, визначені стандартами та іншими нормативними документами. Відповідно роботи пов'язані з науковим обґрунтування норм електроспоживання основним технологічним обладнанням виробничого комплексу з метою реалізації відповідних системних заходів спрямованих на енергозбереження є стратегічними і актуальними для гірничо-металургійної галузі України.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У статті наведено результати другого етапу науково-дослідної роботи, яка фінансується ВАТ «ПівдГЗК»

(м. Кривий Ріг) згідно договору №1392 від 01.09.2012р. з ДВНЗ «Криворізький національний університет». Мета роботи – розробка методу нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками гірничозбагачувального комбінату з метою системного впровадження заходів з енергозбереження.

Очікувані результати: при впровадженні розробленого методу нормування електроспоживання в умовах гірничозбагачувального виробництва буде спостерігатись зменшення витрат на проведення планово-попереджувальних ремонтів до 40% та зниження енергоспоживання структурними підрозділами гірничозбагачувальних підприємств до 2%.

Економічний ефект досягається за рахунок: підвищення надійності нормування електроспоживання об'єктами при застосуванні методики нейронечіткого прогнозування; виявлення об'єктів і підрозділів, що споживають електроенергію нераціонально і мають найбільший потенціал енергозбереження.

Проблемами статистичного аналізу електроспоживання елементами техноценозів та побудови емпіричних моделей процесів електроспоживання присвячена значна кількість наукових робіт Б.І. Кудріна, В.В. Фуфаєва, В.І. Гнатюка [1-2] та ін. У вищезазначених роботах запропоновані методи нормування електроспоживання і розроблені методики визначення графіків проведення планово-попереджувальних ремонтів на об'єктах техноценозів. До основних особливостей запропонованих методик можна віднести: чергування і періодичність ремонтів визначаються призначенням устаткування, його конструктивними і ремонтними особливостями, а також умовами експлуатації; планово-попереджувальний ремонт (ППР) устаткування передбачає виконання: міжремонтного обслуговування; періодичних оглядів; періодичних планових ремонтів - малих, середніх, капітальних; ППР здійснюються за планом-графіком, який розроблений на основі нормативів ППР: тривалості ремонтного, міжремонтного і міжоглядового циклів; категорій ремонтної складності; трудомісткості і матеріалоємності ремонтних робіт.

Найбільш близьким рішенням, обраним в якості прототипу, є методика оптимального управління енергоспоживанням на системному рівні [2]. Спосіб включає використання усередненого зв'язування для одномірних даних, де на кожному кроці застосована оцінка відстаней між статистичними даними, визначення пари найближчих даних і заміни їх середнім значенням, отримання єдиного об'єднання (кластеру), створення багаторівневої ієрархії, групування об'єктів, проведення нормування електроспоживання у кожній групі і визначення черги об'єктів для проведення енергоаудиту.

Описаний метод статистичного планування енергетичних аудитів [2] має ряд недоліків: синтез емпіричної моделі процесу електроспоживання проводиться на основі класичної теорії статистичної обробки даних, що містить у собі інтервальне оцінювання, а також ранговий і кластерний аналіз, похибка методів при цьому досягає 15%; прогнозування електроспоживання окремими об'єктами й інфраструктурою у цілому, провадиться при використанні рангового аналізу, при цьому точність прогнозування може бути підвищена при використанні відомих парадигм нейронних мереж; кластерний аналіз дозволяє розділити об'єкти по

групах за певними ознаками, однак кількість кластерів задається апріорно, що значно знижує точність нормування електроспоживання об'єктами у кожній групі; статистичний аналіз провадиться з використанням лише даних активної потужності.

3. Мета та задачі дослідження

Основа електрозбереження на енергоємних виробництвах складає планомірна реалізація комплексу технічних і технологічних заходів, спрямованих на зниження електроспоживання об'єктами інфраструктури. На першому етапі застосування методики електрозбереження повинна виконуватись оптимізація електроспоживання інфраструктурою технологічного комплексу на системному рівні. Її метою є створення науково обґрунтованих передумов для проведення цілеспрямованих енергетичних аудитів з наступною реалізацією технічних і технологічних заходів, орієнтованих на енергозбереження в умовах енергоємних виробництв.

Задачею даної роботи є удосконалення базової методики [2] за рахунок використання розробленого методу нейронечіткого прогнозування електроспоживання підрозділами, що дозволяє зменшити похибку прогнозу за рахунок урахування комплексного впливу набору чинників.

Послідовна реалізація розробленого методу оптимального керування електроспоживанням функціональними групами техноценозів з нейронечітким прогнозуванням, дозволяє цілеспрямовано впливати на ті об'єкти, які дійсно потребують проведення профілактичних робіт. При цьому фонди, спрямовані на проведення енергетичних обстежень, будуть витрачатись найбільше ефективно, а загальне електроспоживання інфраструктурою буде знижено на 1-2%, що підтверджено виробничими випробуваннями нейронечіткої моделі в короткотривалому прогнозуванні електроспоживання підрозділами ПАТ «ПівніГЗК» [3].

4. Метод нормування електроспоживання РЗФ

Як зазначено вище, нормування електроспоживання об'єктами гірничозбагачувальних підприємств та планування енергетичних аудитів ґрунтується на використанні системи ефективного нейронечіткого прогнозу електроспоживання. Одним з важливих чинників ефективного прогнозування на базі нейронечіткової структури є облік залежності прогнозу від значень навантаження в попередні місяці. В якості додаткових елементів вхідного масиву нейронечіткової мережі пропонується використати поточну інформацію про якість електроенергії, основні технологічні показники роботи підрозділу та метеофактори.

Приклад табличних значень складових вхідного і вихідного вектору для тренування системи нейронечіткого прогнозу електроспоживання підрозділами ВАТ «ПівніГЗК» (РЗФ-1, 2): фактична витрата електроенергії (тис. кВт·год): РЗФ-1: /всього; концентрат; склад; освітлення виробничих потреб; освітлення адмін. споруд;/ РЗФ-2: /всього; концентрат; склад; освітлення виробничих приміщень; освітлення адмін. спо-

складові за умови порівняння фактичного і прогнозованого значення електроспоживання підрозділом.

Нечітка система прогнозу повинна апроксимувати фактичне значення електроспоживання, що означає виконання умови:

$$u^* = \underline{\sigma}^{*T} \zeta(x), \tag{6}$$

де $\underline{\sigma}^*$ - вектор параметрів нечіткої системи, котрий з похибкою ϵ відображає фактичне електроспоживання підрозділом комбінату.

Згідно (6) прогнозоване значення електроспоживання визначається як функція від вектора вхідних параметрів.

Запишемо формулу фазифікації на базі узагальненої гаусової функції

$$\mu(x) = \alpha_i = \exp\left(-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^{2b}\right), \tag{7}$$

де c, σ, b - параметри центру, ширини та форми компонента вхідного вектору для нечіткого правила висновку.

При застосуванні (8) до дефазифікації маємо модифікацію нечіткого висновку:

$$y_0 = f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i \left[\prod_{j=1}^N \exp\left[-\left(\frac{x_j - c_j^{(i)}}{\sigma_j^i}\right)^{2b_j^i}\right] \right]}{\sum_{i=1}^M \left[\prod_{j=1}^N \exp\left[-\left(\frac{x_j - c_j^{(i)}}{\sigma_j^i}\right)^{2b_j^i}\right] \right]}. \tag{8}$$

Остання формула моделі виводу Мамдані-Заде визначає неперервну функцію дефазифікації вхідного вектору на базі використання нечіткої нейронної мережі. Перший шар даної чотиришарової структури виконує фазифікацію вхідного вектора, другий – агрегування значень активації умови, третій – агрегування M правил виводу й генерацію нормалізованого сигналу, останній шар формує вихідний сигнал. Параметричними є перший і третій шари. У першому шарі задаються параметри функції фазифікації (c_j^k, σ_j^k, b_j^k), у третьому шарі активуються ваги v_M , які інтерпретуються як центр функції приналежності наслідку нечіткого правила.

Модифікований алгоритм самоорганізації системи нечіткого прогнозу електроспоживання:

1°. При старті з першої пари даних $\langle x_1, y_1 \rangle$ створюється перший кластер із центром $c_1 = x_1$. Приймається, що $w_1 = y_1$ а потужність множини $L_1 = 1$.

Позначимо граничну евклідову відстань між вектором x і центром c_i , при якому дані будуть трактуватися як приналежні до створеного кластера, символом r .

2°. Після зчитування k -ої навчальної пари $\langle x_k, y_k \rangle$ розраховуються відстані між вектором x_k і всіма існуючими центрами $\|x_k - c_l\|$ для $l = 1, 2, \dots, M$.

Якщо $\|x_k - c_{l_k}\| > r$, то створюється новий кластер

$$c_{M+1}(k) = x_k, \tag{9}$$

$$w_{M+1}(k) = d_k, \tag{10}$$

$$L_{M+1}(k) = 1 \tag{11}$$

Параметри створених до цього кластерів не змінюються: $w_l(k) = w_l(k-1)$, $L_l(k) = L_l(k-1)$ для $l = 1, 2, \dots, M$. Кількість кластерів M збільшується на одиницю.

Якщо $\|x_k - c_{l_k}\| \leq r$, то дані включаються в l_k -й кластер, параметри якого слід уточнити відповідно з наступними виразами:

$$w_{l_k}(k) = \frac{[w_{l_k}(k-1) + d_k]}{2}$$

$$L_{l_k}(k) = L_{l_k}(k-1) + 1 \tag{12}$$

$$c_{l_k}(k) = \frac{c_{l_k}(k-1) + x_k}{2}.$$

3°. Результируюча функція, котра апроксимує вхідні дані системи, має вид

$$\hat{f}(x) = y = \frac{\sum_{l=1}^M w_l(k) \exp\left(-\frac{\|x - c_l(k)\|^2}{\sigma^2}\right)}{\sum_{l=1}^M L_l(k) \exp\left(-\frac{\|x - c_l(k)\|^2}{\sigma^2}\right)}. \tag{13}$$

Імітаційне тестування розробленої структури короткотривалого нейронечіткого прогнозу електроспоживання. З метою тестової оцінки ефективності роботи розробленої системи нейронечіткого прогнозу електроспоживання підрозділами ГЗК для навчання використано вхідні дані наведені в табл.1. В якості вихідного значення прийнято фактичне електроспоживання РЗФ-1 (тис. кВт·год).

Навчання здійснюється ітераційним методом шляхом послідовного пред'явлення вхідних векторів (табл. 1) з одночасною адаптацією ваг. У процесі навчання ваги мережі поступово стають такими, при яких кожен вхідний вектор виробляє вихідне прогнозне значення на наступний інтервал.

Згідно з отриманими значеннями кластер-оцінок на рис.1 наведено відповідні функції приналежності п'яти вхідних і однієї вихідної змінної після навчання нейронечіткої системи.

Прогнозоване і фактичне значення електроспоживання РЗФ-1 ГЗК наведено на рис.2. Окремим графіком зображена зміна відносної похибки прогнозу. Середнє значення МАРЕ-похибки склало 2,54%.

Точність отриманого прогнозу варто визнати задовільною (у 100% випадків похибка не перевищила 5%). Аналіз результатів прогнозування енергоспоживання розробленою нечіткою нейромережевою структурою дозволяє стверджувати про підвищення ефективності екстраполяції даних на 15% в порівнянні з відомими аналогами, таким чином доведена можливість використання розроблених структур в якості нейронечітких моделей енергоємних об'єктів при застосуванні аналітичної процедури

інтервального оцінювання, що дозволяє визначити, перелік об'єктів технологічного комплексу збагачення (РЗФ-1, РЗФ-2) які споживають електроенергію нерационально.

Таблиця 1

Приклад навчальних кортежів для проведення тестової оцінки ефективності роботи нейронної системи прогнозу

Витрати ЕЕ		Період			
		I.2011	II.2011	...	
РЗФ-1	Фактична витрата електроенергії (тис. Квт*Г)	Всього	21073	18656	...
		Концентрат	20800	18410	...
		Склад	93	84	...
		Освітлення	160	145	...
РЗФ-2	Фактична витрата електроенергії (тис. Квт*Г)	Всього	40964	34410,64	...
		КЗ	23660	19700	...
		КЗВ	16272	13796,64	...
Видобуток руди	тис. м ³	491,3	481,4	...	
Виробництво (тис. тон)		311,8	290	...	
Температура зовн. повітря(°C)		-4,4	-6,1	...	

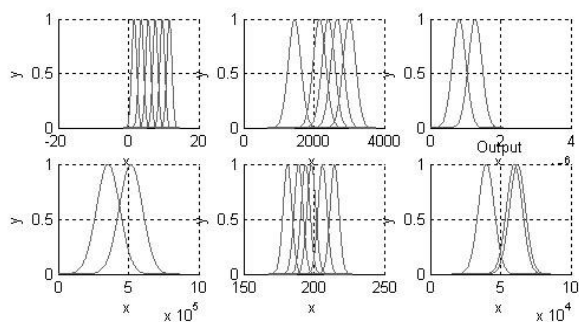


Рис. 1. Функції приналежності п'яти вхідних і однієї вихідної змінної після навчання нейронної системи

За результатами визначення просторового положення прогнозованого значення електроспоживання підрозділу на ранговому розподілі є можливість оцінити коефіцієнт рационального використання електроенергії при проведенні технологічних процесів збагачення. Таким чином, відповідно до запропонованої методики [2], в межах гаусового розподілу параметрів, стверджують, що об'єкт споживає електроенергію нормально

у разі перебування прогнозованого значення в межах довірчого інтервалу. Зсув прогнозованого значення за нижню межу довірчого інтервалу свідчить про порушення нормального технологічного процесу та відповідно електроспоживання на даному об'єкті, в той час як зсув за верхню межу свідчить про нерациональне використання електроенергії і неефективне впровадження заходів з енергозбереження.

Алгоритм визначення довірчого інтервалу. В якості прикладу розглянемо визначення довірчого інтервалу для статистичної вибірки фактичного електроспоживання РЗФ-1 періоду 2009-2011 рр.

1°. Задаємо вибірки значень електроспоживання об'єктом за визначений термін. В якості прикладу використовуємо статистичну вибірку сумарної фактичної витрати електроенергії РЗФ-1 (кВт*год) за квітень 2009р, 2010р, 2011р.: $X_0=6361.0$; $X_1=20598.0$; $X_2=14883.0$ (кВт*год).

2°. Визначаємо розмір вибірки та задаємо рівень значимості: $N=3$; $\alpha=0.05$.

3°. Ступінь довіри визначається за формулою

$$1 - \alpha = 0,95. \tag{14}$$

4°. Розраховується середнє значення вибірки ($X_{\alpha v}$).

5°. Розраховується середньоквадратичне відхилення (S_X).

6°. Процедура визначення довірчого інтервалу.

6.1. Задаємо коефіцієнт Стьюдента для заданого об'єму вибірки та ступеню довіри. На даному етапі запропоновано [2] використовувати стандартну функцію t -розподілу Стьюдента. В якості аргументів приймають число ступенів свободи d ($d > 0$) та $0 < p < 1$, а щільність ймовірності t -розподілу Стьюдента розраховується за формулою

$$t(\alpha, N) = \frac{\Gamma((d+1)/2)}{\Gamma(d/2)\sqrt{\pi d}} \left(1 + \frac{x^2}{d}\right)^{-0,5(d+1)}. \tag{15}$$

6.2. Розраховується абсолютна випадкова похибка

$$\Delta X_{sl} = t(\alpha, N) \cdot \frac{S_X}{\sqrt{N}}. \tag{16}$$

6.3. Визначають МАРЕ-похибку прогнозу за попередній період (2);

6.4. Уточнюють абсолютну похибку з урахуванням МАРЕ-похибки прогнозу

$$\Delta X = \sqrt{(\Delta X_{sl})^2 + (\Delta X_{mare})^2}. \tag{17}$$

6.5. Розраховується верхня та нижня межа довірчого інтервалу

$$X_L^U = X_{\alpha v} \pm \Delta X. \tag{18}$$

Результати застосування алгоритму розрахунку довірчого інтервалу при нормуванні електроспоживання РЗФ-1 у 2012р. на базі статистичної вибірки 2009-2011 рр. і нейронної прогнози на 2012р. наведені на рис. 2.

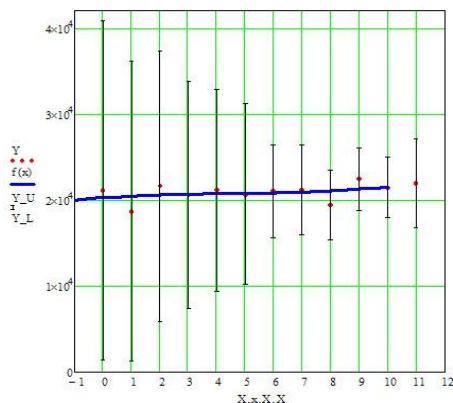


Рис. 2. Довірчі інтервали електроспоживання РЗФ-1 у 2012р.

5. Висновки

Результати розробки методу нейронечіткого нормування електроспоживання РЗФ ГЗК та промислові випробування проведені згідно договору №1392 від 01.09.2012р. з ДВНЗ «Криворізький національний університет» підтверджують ефективність застосування методики в інформаційній системі нормування електроспоживання, що дозволить системно впроваджувати заходи з енергозбереження на гірничозбагачувальних підприємствах і знизити електроспоживання структурними підрозділами гірничозбагачувальних підприємств до 2%.

Література

1. Кудрин, Б.И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 5 – 17.
2. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Выпуск 29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005.
3. Аналіз енергетичних режимів роботи основних цехів ВАТ «ПівнГЗК»: Звіт з НДР/ Криворізький техн. університет. – № 1238. -Кривий Ріг, 2003.-150 с.
4. Osowski S. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna wydawnicza politechniki warszawskiej, Warszawa, 2000. - Pp. 124-128.

Abstract

The results of the second stage of research work, which is funded by the Open joint-stock company "UGOK" (Kryvyi Rih) under contract №1392 from 01.09.2012 with State institution of higher education «Kryvyi Rih National University». Purpose - to develop a method rationing concentration plants electricity in order to systematically implement energy saving measures.

Expected results: the implementation of the developed method rationing electricity in ore production will occur reducing the costs of routine preventive repairs to 40% and reduce the energy consumption departments of ore mining enterprises to 2%.

An economic effect is arrived for next ways: increasing reliability rationing objects electricity with application of neuro-fuzzy prediction method; exposing objects and subsections which consume electric power unrationally and have most potential of energy saving.

The article presents results of development rationing ore mining factories electricity method which based on the process electricity neuro-fuzzy model of these subsections. The results of developed method industrial tests confirm efficiency of his application which will allow system to inculcate measures on energy saving on ore mining enterprises.

Keywords: electricity, rationing, ore mining factory, adaptive neural network.