

- національний технічний університет – №u201106291; заявл. 19.05.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19, 2011 р.
5. Petrenko V. Electrical Properties of Ice / Petrenko V. // Special Report 93-20, August 1993. — 70 p.
 6. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 304 с.
 7. Rigol User Guide DS1000B Series Digital Oscilloscopes. — Rigol Technologies Inc., 2009 — 166 p.

И. Грищук, М. Кубкин, А. Козловский

К вопросу расчета сопротивления гололедно-изморозевых отложений

Предложен способ измерения электрического сопротивления гололедно-изморозевых отложений с помощью двухканального осциллографа, который базируется на методе использования закона Ома для переменного тока. Приведены выражения для вычисления значений сопротивления и емкости, а также метрологические характеристики предложенного способа.

I. Gryshchuk, M. Kubkin, O. Kozlovskyi

On defining resistance of glaze-ice and rime deposition

The article offers the method of measuring electrical resistance of glaze-ice and rime deposition with the help of dual channel oscilloscope. It is based on the method of usage of Ohm's law for alternating current. The article provides expressions for the calculation of resistance value as well as meteorological evaluation of the developed method of measuring.

Одержано 15.09.12

УДК 621.311.001.57

В.П. Щокін, проф., д-р техн. наук, О.В. Щокіна, ст. викл.

ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг

ARMAViS-модель процесу електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК

Наведені результати синтезу нейроморфної авторегресійної моделі процесу електроспоживання підрозділами гірничозбагачувальних комбінатів. Результати промислових випробувань розробленої моделі підтверджують ефективність її застосування в інформаційній системі нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК, що дозволить системно впроваджувати заходи з енергозбереження на гірничозбагачувальних підприємствах.

авторегресійна модель, електроспоживання, енергозбереження

*Постановка проблеми у загальному вигляді. В статті наведено результати першого етапу науково-дослідної роботи, яка фінансується ВАТ «ПівдГЗК» (м. Кривий Ріг) згідно договору №*** від ****. 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 на енергоємних виробництвах буде спостерігатися 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 ARMAViS-прогнозування; виявлення об'єктів і підрозділів, що споживають електроенергію нераціонально і мають найбільший потенціал енергозбереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за даною проблемою. Основу енергозбереження на енергоємних виробництвах складає планомірна реалізація комплексу технічних і технологічних заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання об'єктами інфраструктури. На першому етапі застосування методики енергозбереження 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.

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 [1-3] та ін. У вищезазначених роботах запропоновані методи нормування електроспоживання і відповідно 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 [3]. 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.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Описаний метод статистичного планування енергетичних аудитів [3] 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.

Задачею даної роботи є удосконалення прототипу за рахунок використання ARMAViS-прогнозування [4] електроспоживання інфраструктурою, що дозволяє зменшити похибку екстраполяції, підвищити ефективність динамічного планування енергетичних аудитів на енергоємних об'єктах за рахунок розробки методу оцінювання енергетичного стану з урахуванням комплексного впливу різноманітних чинників.

Послідовна реалізація розробленого методу оптимального керування електроспоживанням функціональними групами техноценозів з ARMAViS-прогнозуванням, дозволяє цілеспрямовано впливати на ті об'єкти, які дійсно потребують проведення профілактичних робіт. При цьому фонди, спрямовані на проведення енергетичних обстежень, будуть витрачатися найбільше ефективно, а загальне електроспоживання інфраструктурою буде знижено на 1-2%, що підтверджено виробничими випробуваннями нейронечіткої моделі в короткотривалому прогнозуванні електроспоживання підрозділами ПАТ "ПівніЗК" (м. Кривий Ріг) [5].

Як зазначено вище, нормування електроспоживання об'єктами гірничозбагачувальних підприємств та планування енергетичних аудитів ґрунтується на використанні системи ефективного ARMAViS-прогнозу електроспоживання. Наукове обґрунтування ефективності нейронечіткого прогнозу електроспоживання об'єктами інфраструктури проведено в рамках виконання НДР за договором № Ф11/11-2006 [6].

Результатом виконання НДР є система прогнозування 24-годинних електричних навантажень комбінату. Оскільки однією з важливих властивостей нейронних мереж є здатність прогнозувати тимчасові ряди, в якості базового алгоритму системи прогнозування прийнятий нейромережевий підхід.

Подібна задача - прогнозування 24-годинних навантажень Польської електроенергетичної системи (PSE), вирішена в роботах С.Осовського [7]. Облік властивостей прогнозування перцептронними мережами дає можливість використовувати визначену повторюваність вибірок в залежності від дня тижня і місяця. У роботі [7] виділяються або чотири основних види навантажень, що відповідають суботі, неділі, понеділку й іншим чотирьом робочим дням, або тільки два види, що відповідають святковим і робочим дням.

За результатами проведених [5] статистичних досліджень встановлено, що розподіл по чотирьом типам днів хоча і знижує похибку навчання нейромережі, однак збільшує похибку узагальнення. Отже, в якості оптимального, прийнято розподіл по двом видам робочих днів.

Ще одним фактором, що враховувався у прогнозі [5], є розподіл доби на чотири періоди: рівномірний нічний, піковий ранковий, рівномірний денний і піковий вечірній. Прийнятий поділ доби передбачає зсув виділених періодів відповідно до сезонів.

ARMAViS-модель процесів електроспоживання. У сучасній науковій літературі при висвітленні питань нейропрогнозування, а саме в описах методів синтезу структур нейроідентифікації динаміки об'єктів, використовують таку інтерпретацію апроксимуючих властивостей штучних нейронних мереж (ШНМ):

$$\hat{y}(k+1) = F(u_k, z^{-1}u_k, \dots, z^{-m}u_k; \hat{y}_k, z^{-1}\hat{y}_k, \dots, z^{-n}\hat{y}_k; w_i^{(l)}), \quad (1)$$

де в якості вектора стану ШНМ приймають вектор:

$$\text{col}(y, z^{-1}\hat{y}, \dots, z^{-n}\hat{y}) = \text{col}(\hat{x}_n(k), \hat{x}_{n-1}(k), \dots, \hat{x}_1(k)), \quad (2)$$

де z^{-1} – оператор зсуву.

Результатом ідентифікації динамічної моделі процесів електроспоживання, в сенсі наближення функцій виходу $\hat{y}(t)$ і $y(t)$ з точністю до похибки навчання нейронної мережі $\hat{e}(t) = y(t) - \hat{y}(t)$, є параметрично синтезовані, згідно з певним алгоритмом, значення вагових коефіцієнтів синоптичних зв'язків $w_i^{(l)}$ в шарах ШНМ $l = \overline{1, K}$ з оцінкою вектора стану об'єкта, який прийнято [7] описувати параметрично недовизначеним нелінійним диференціальним рівнянням виду:

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1); u(k), \dots, u(k-m+1)] \quad (3)$$

Нами пропонується розглядати функції, які виконує ШНМ в структурі системи прогнозування з точки зору проєкції властивостей дискретного фільтра, який виконує перетворення вхідної послідовності чисел $y(mT)$ у вихідну $u(mT)$ ($m = 0, 1, \dots, N$). У даному випадку різницеве рівняння (1) з урахуванням заміни неперервного аргументу буде мати такий вигляд:

$$u(mT) = \sum_{k=0}^N \beta_k y[(m-k)T] - \sum_{k=1}^N \alpha_k u[(m-k)T] \quad (4)$$

Співставлення рівнянь (3) та (4) дозволяє довести, що параметрично недовизначене нелінійне диференціальне рівняння (3) є узагальненою формою рівняння дискретного фільтра (4), якщо врахувати, що вагові коефіцієнти β_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) та α_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) можуть бути визначені на базі застосування апроксимуючих властивостей інтелектуальних елементів з урахуванням мінімізації квадратичного функціонала

$$J(\varepsilon_u) = 0,5 \varepsilon_u^T \varepsilon_u \quad (5)$$

Рівняння (4) у дискретній формі має вид:

$$y[i] = \sum_{j=0}^q \alpha_j x[i-j] - \sum_{k=1}^p \beta_k y[i-k] + \varepsilon[i] \quad (6)$$

Оскільки відсутня явна залежність вектора ε_u і функції $J(\varepsilon_u)$ у функціоналі (5) від вагових коефіцієнтів $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, помилка ε_u у процедурі адаптації моделі (6) перераховується в узагальнені помилки $\delta^{(l)}$, які явно залежать від значень $\alpha_0 \dots \alpha_l$. При цьому адаптація вагових коефіцієнтів моделі (6) на кроці $[i+1]$ виробляється відповідно до наступного шаблону:

$$\alpha_j[i+1] = \alpha_j[i] - h\beta^{(i-j)}[i]\Lambda^{(j)}[i], \quad (7)$$

де $\beta^{(i-j)}$ – розподілений лаг регресора, h – швидкість настроювання,

$$\alpha_j[i] = \alpha_j[i-1] + h \cdot \varepsilon_u[i] \cdot \beta[i-j-1], \quad j = 0, 1 \dots \ell, \lambda > 0. \quad (8)$$

Адаптаційна помилка $\varepsilon_u[i]$ визначається як різниця еталонного значення і фактичного виходу моделі на i -ої ітерації.

З урахуванням адаптивних властивостей моделі (6), які забезпечуються нейроморфним настроюванням вагових коефіцієнтів $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ дані дискретні адаптивні структури, що характеризують адаптивні ARMA-процеси, скорочено запропоновано [4] називати ARMABiS (AutoRegressive with Moving Average Brain-inspired Systems).

Застосування ARMABiS-моделей процесів електроспоживання в методиці оптимального керування електроспоживанням підрозділами гірничозбагачувальних підприємств дозволяє відокремитись від визначеного загального тренда, обумовленого технологічними і технічними змінами виробництва, оскільки модель навчається розпізнавати параметри годинних навантажень, характерні для різних днів. Специфіка конкретного дня задається кодованим вхідним сигналом. Вхідний вектор поєднує наступні значення: основні електротехнічні показники електроспоживання за активною і реактивною складовою; два типи днів; сезонний розподіл періоду прогнозу; розподіл доби на чотири періоди; попередні дані динаміки електроспоживання; основні метеорологічні показники періоду прогнозу; основні показники технологічної сировини; основні показники технічного стану обладнання і інше.

Додатково позначаємо середнє значення енергетичного режиму підрозділу комбінату в j -й день $Pm(j)$, а його варіацію - $\sigma(j)$, що дає змогу визначити годинний профіль j -го дня:

$$p(j, h) = \frac{P(j, h) - Pm(j)}{\sigma(j)}, \quad (9)$$

де $h = 1, 2, \dots, 24$; $P(j, h)$ - фактичне електроспоживання підрозділом комбінату в h -й годині j -дня; $p(j, h)$ - вектор профільного електроспоживання дня.

У розробленій системі прогнозу на базі ARMABiS-моделей процесів електроспоживання, за початкову точку відліку прийняті часи з найбільш стабільним навантаженням у масштабах року. Якість прогнозування розробленої ARMABiS-структури оцінюється показником відсоткової похибки $MAPE$ (Mean Absolute Percentage Error)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|P_t - \bar{P}_t|}{P_t} \cdot 100\% \quad (10)$$

де \overline{Pt} - безпосередньо прогнозоване значення; Pt - фактичне електроспоживання підрозділом; n - число годин на які складається прогноз.

Розроблена структура прогнозу пройшла промислові випробування в умовах щомісячного прогнозу енергоспоживання комбінатом ВАТ "ПівдГЗК", і була доведена ефективність її використання в інформаційній системі оптимального керування електроспоживанням РЗФ ГЗК а саме: МАРЕ-похибка моделі, в режимі робочого функціонування, не перевищує 1,5%; вхідний вектор моделі охоплює досить широкий спектр інформативних параметрів, що забезпечує зниження похибки узагальнення; модель забезпечує динамічне прогнозування з урахуванням попередніх навчаючих кортежів.

Висновки і перспективи подальших робіт у даному напрямку.

В статті наведено результати побудови ARMABiS-моделі процесу електроспоживання підрозділами гірничозбагачувальних комбінатів, яка може бути ефективно застосована в інформаційній системі нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК з метою системного впровадження заходів з енергозбереження на подібних підприємствах. Подальші роботи будуть спрямовані на розробку інформаційної системи планування енергетичних аудитів на об'єктах енергоємних виробництв.

Список літератури

1. Кудрин Б.И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 5 – 17.
2. Фуфаев В.В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона. – М.: ЦСИ, 2000. – 320 с.
3. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Выпуск 29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005.
4. Щокін В.П. Адаптивне керування агломераційним комплексом на основі авторегресійних структур з регуляризацією: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07/ Вадим Петрович Щокін : ДВНЗ «Криворізький національний університет» - Кривий Ріг : 2012. – 40с.
5. Аналіз енергетичних режимів роботи основних цехів ВАТ «ПівдГЗК»: Звіт з НДР/ Криворізький техн. університет. – № 1238. – Кривий Ріг, 2003.-150 с.
6. Розроблення методу та програмного забезпечення нейронечіткого планування енергетичного аудита на об'єктах енергоємних виробництв: Звіт з НДР №Ф11/11-2006 на виконання НТП GP/F11/0002/ Криворізький техн. університет. – Кривий Ріг, 2006.-250 с.
7. Osowski S. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna wydawnicza politechniki warszawskiej, Warszawa, 2000. - Pp. 124-128.

В. Щекін, О.Щекіна

ARMABiS-модель процесса электропотребления рудообогатительных фабрик ГОК

Приведены результаты синтеза нейроморфной авторегрессионной модели процесса электропотребления подразделениями горнообогатительных комбинатов. Результаты промышленных испытаний разработанной модели, подтверждают эффективность ее применения в информационной системе нормирования электропотребления рудообогатительными фабриками ГОКов, что позволит системно внедрять мероприятия связанные с энергосбережением на горнообогатительных предприятиях.

V. Shchokin, O..Shchokina

ARMABiS-model of process electro-consumption iron-stone enriching Ore Mining and Processing Plant

The results of synthesis of Neural-AutoRegressive model of process of electro-consumption subdivisions of Ore Mining and Processing Plant. Results of industrial tests of the developed model, confirm efficiency of its application in the informative system of setting norms electro-consumption the Ore Mining and

Processing Plant, that will allow system to inculcate measures related to energy-economy on Ore Mining and Processing Plant.

УДК 621.316.1

В.В. Зінзура, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю

Стаття присвячена розробці математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю. Дана модель управління забезпечує зменшення не лише усталеного відхилення трьохфазної напруги, зменшення рівнів несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях, а враховує й відхилення фазних напруг, що є досить актуальною задачею для мережі з однофазними споживачами.

відхилення напруги, несиметрія напруги, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальна множина, утопічна точка

Вступ. В сучасних системах електропостачання досить часто спостерігаються завищені показники якості електричної енергії.

Одними з основних показників, що характеризують якість електричної енергії згідно ГОСТ-113109-97 є усталене відхилення напруги та коефіцієнти несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях.

Понаднормове перевищення значень даних показників якості призводить до появи ряду негативних явищ: збільшення втрат електричної енергії, зношення ізоляції, вихід електроприймачів з ладу та ін.

Постановка проблеми. В низьковольтних мережах, що працюють в режимі з глухозаземленою нейтраллю, питома частка однофазних споживачів є досить значна. Для їх нормального функціонування необхідно, щоб значення відхилень фазних напруг не перевищували нормально допустимих значень, встановлених ГОСТ-113109-97. Найбільш дієвим та поширеним способом зниження рівнів показників якості електричної енергії до допустимих меж є застосування спеціальних технічних засобів регулювання та симетрування напруги. Проте дані засоби не завжди можливо використовувати, зважаючи на їх техніко-економічні показники. Одним із шляхів вирішення даної задачі є вдосконалення систем автоматичного управління пристроєм РПН силового трансформатора.

Аналіз публікацій. Питання одночасного зниження несиметрії напруг розглядалось в роботах [1], [2], [3], [4]. В роботі [3] сформульовано задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги для трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Проте в моделі управління, запропонованій в даній роботі не враховуються значення відхилення напруг окремих фаз мережі.