

УДК 004.67

А.І. КУПІН, д-р техн. наук, проф., Д.І. КУЗНСЦОВ, канд. техн. наук, ст. викл.  
Криворізький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ АВТОМАТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ У СИСТЕМАХ ТИПУ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ДІМ»

Сучасні котеджі, квартири, апартаменти та приватні будинки є складними інженерними комплексами, які вимагають кваліфікованої експлуатації. Системи «Інтелектуальний дім» дають змогу, у автоматичному режимі, виконувати управління енергозабезпеченням, опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням тощо. Завдяки такій автоматизації кожна частина такої інформаційної системи працює злагоджено з іншими, у оптимальному режимі, що дозволяє економити час та гроші. Окрім виконання функції контролю та забезпечення комфортних умов перебування у приміщенні, на даний момент, перспективним шляхом досліджень систем «Інтелектуальний дім» є самодіагностика побутової техніки, комунікаційного обладнання тощо. Наприклад, визначення протікань батарей, труб, неправильної роботи або роботи у аварійних режимах побутової техніки. У свою чергу, наявність сучасних бездротових технологій дозволяють власнику будинку одразу дізнатися про будь-яку нештатну ситуацію. На даний момент існуючі розробки та технологічні рішення, щодо автоматичної самодіагностики побутової техніки вимагають наявності спеціалізованих блоків або видів побутової техніки з інтегрованими елементами діагностики, що є досить дорогим рішенням для впровадження в систему «Інтелектуальний дім». У даній статті авторами запропоновано метод спектр-струмової діагностики побутової техніки на основі спектрального аналізу електромережі у якій працюють побутові прилади з асинхронними двигунами. Використання запропонованого підходу дозволяє виконувати непряму діагностику та ідентифікацію будь-якого побутового обладнання елементом якого є асинхронний двигун, що дозволяє зменшити витрати коштів на використання спеціалізованого обладнання, а також спростити логіку управління інформаційною системою «Інтелектуальний дім».

**Ключові слова:** інтелектуальний дім, самодіагностика, асинхронних двигун, інформаційна система, спектр-струмовий аналіз.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В сучасних електронно-інформаційних системах будинків системи автоматизації та управління займають досить вагоме місце. У свою чергу вони забезпечують взаємозв'язок всього устаткування та інформаційних систем будинку. Велика кількість останніх досліджень показує підвищення тенденції до збільшення частини інженерних систем та інтелектуальних систем автоматизації при проектуванні або модернізуванні сучасних будівель [1]. Розвиток даної тенденції приводить до збільшення ролі систем автоматизації і управління будинками з однієї сторони та концепції взаємного співіснування інженерного обладнання та організації технічних рішень з експлуатації та використанням систем автоматизації і управління будівлями з іншої сторони.

Класична система «Інтелектуальний дім» включає централізований підхід до управління. Єдиний центр управління та прийняття рішень зосереджується у блоці управління до якого під'єднуються всі дочірні елементи. Дані системи здатні виконувати управління мікрокліматом приміщень, контролювати побутову техніку, управління опаленням, освітленням, каналізацією тощо. Слід відмітити те, що головною особливістю таких систем є попереднє створення алгоритму роботи та жорстке обмеження щодо існуючих сценаріїв роботи.

Головною особливістю сучасних досліджень у даному напрямі є максимальне спрощення алгоритмів роботи систем розумний дім, досягнення можливості адаптації та самонавчання під потреби користувачів. Досить важливою задачею є дистанційний моніторинг, діагностика та управління побутовою технікою.

Наприклад, попередження повного виходу з ладу електроприладів, які починають працювати у аварійному режимі, на основі використання функції самодіагностики і відправлення відповідного запиту до сервісного центру з кодом можливої несправності, що дозволяє значно зменшити час на встановлення причини майбутньої поломки.

Головним недоліком існуючих методів, розробок та технологічних рішень є використання спеціалізованих датчиків, контролерів та пристроїв які використовуються тільки для найостанніших версій побутової техніки, що у свою чергу унеможливує використання всіх елементів та аспектів «Інтелектуальний дім» у середньостатистичній квартирі з доволі старою технікою (віком 5-10 років).

Також слід відмітити те, що організація функції самодіагностики побутової техніки можлива тільки для окремого типу техніки, тобто в якій дана функція закладена у конструкцію [5].

**Аналіз досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день велика кількість компаній по виготовленню побутової техніки займається дослідженнями у сфері інновацій для систем «Інтелектуальний дім». Зокрема, компанія LG створила технологію інтелектуальної самодіагностики Smart Diagnosis та систему управління енергоспоживанням Smart Grid Ready [2]. Дані технології дозволяють останнім версіям побутової техніки даної компанії краще проводити самодіагностику та інформувати про це користувача. За допомогою Wi-Fi, NFC і звукових діагностичних сигналів, власник відразу ж повідомляється про незначні проблеми, такі як, наприклад, виключення льодогенератора, що сприяє скороченню звернень в службу технічної підтримки і дорогих викликів майстра на дім.

Також слід відмітити, те що існують досить поширені інформаційні технології, методи та засоби цифрової діагностики електрообладнання, зокрема асинхронних електродвигунів (АД) які є у основі багатьох побутових приладів, наприклад, фенів, пилососів, пральних машин тощо. Одним із перспективних варіантів розв'язання задач моніторингу та діагностики побутової техніки з АД є використання спектр-струмової діагностики на основі використання апарату нейромереж. Нейронні мережі можна використати для розв'язання задач класифікації, зменшення рівня шуму, виділення параметрів та розпізнавання змістовних елементів цифрових сигналів з високою точністю і швидкістю. Тому дані задачі є складовою загальною проблемою цифрової обробки сигналів і на сучасному етапі є важливі та актуальні.

Зокрема, найпоширенішими методами діагностування асинхронних електродвигунів є наступні [4]:

вібраційний спосіб оцінки технічного стану електродвигуна, за яким реєструють та аналізують сигнал, який створює вібрація приладу;

спосіб моделювання, який включає в себе етап розробки комп'ютерної моделі двигуна, з'єднання з устаткуванням за допомогою великої кількості датчиків;

спектр-струмовий аналіз, спосіб діагностики двигунів, та пов'язаних з ними механічних приладів, у яких протягом заданого інтервалу часу відбувається запис значень струмів, які споживає двигун. З отриманих значень виділяють характерні частоти для даного електродвигуна, перетворюють отриманий сигнал з аналогової форми у цифрову, а потім здійснюють спектральний аналіз із отриманого сигналу та порівняння значень амплітуд на характерних частотах з рівнем сигналу на електромережі.

Серед розглянутих методів, спектр-струмовий аналіз є найбільш перспективним та оптимальним методом, тому що він дозволяє досліджувати двигун не тільки безпосередньо під'єднавшись до нього (перші два способи), а й під'єднавшись до системи живлення. При спектр-струмовому аналізі найчастіше використовують пряме перетворення Фур'є, для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики електродвигуна навіть у реальному часі.

**Постановка завдання.** Науковою задачею виконуваних досліджень є розробка частини інформаційної системи «Інтелектуальний дім» на основі використанням математичного апарату спектрального аналізу та нейронних мереж, з метою діагностики поточного стану побутової техніки яка містить АД. Задача є актуальною, оскільки її вирішення забезпечить зменшення ймовірності роботи обладнання у аварійних режимах, а також зменшення витрат на планове обслуговування та зменшення енергоспоживання.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналіз залежностей виникнення дефектів АД, шляхом математичних та експериментальних досліджень, показав ефективність використання струму в якості діагностичного параметру в інформаційній системі моніторингу АД, а також його універсальність, яка полягає в аналізі спектрального шуму двигуна з подальшою можливістю використання у якості навчаючої вибірки для нейронної мережі, з метою ідентифікації асинхронного електродвигуна.

Для побудови інформаційної системи моніторингу поточного стану асинхронного електродвигуна у якості основного методу моніторингу поточного стану АД було обрано спектр-струмовий метод [5,15]. При цьому наявність виникнення того чи іншого дефекту характеризується підвищенням значення амплітуди на відповідній «дефектній» частоті з часом. Тому основною метою інформаційної експертної системи є аналіз (моніторинг) цих дефектних частот. Для реалізації процесу моніторингу, у відповідності до обраного методу, необхідно запам'ятати спектральний шум асинхронного електродвигуна (ідентифікувати його), який він залишає у електромережі, та порівнювати його через фіксовані інтервали часу.

У якості засобів класифікації даних було обрано нейронні мережі, а в якості навчаючої вибірки для нейромережі обираються характерні частоти зі спектрального шуму асинхронного електродвигуна. Під характерними частотами (ХЧ) розуміються частоти, де амплітуда має найбільше значення, окрім амплітуди з частотою живлячої мережі. Вхідними даними, як при навчанні нейромережі, так і при тестуванні (ідентифікації), є діапазони частот із максимальним значенням амплітуди, тобто із масиву спектрального шуму  $U[m]$ , необхідно знайти діапазон частот  $[m-p, m]$ , в котрих із часом встановлюються максимальні значення амплітуд, де  $p$  - ширина (точність) діапазону,  $Ser$  - середнє значення амплітуд

$$Ser = \max(U[m])/p \quad (1)$$

Для підвищення показника ефективності інформаційної технології розпізнавання та моніторингу дефектів електродвигунів, запропоновано використовувати статистичний корегуючий коефіцієнт  $\theta$ , який враховує фізичні особливості електрообладнання, і розраховується так

$$\theta = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \right|, \quad (2)$$

де  $n$  - кількість частот, які ідентифікують електродвигун,  $\delta$  - дисперсія амплітуд ХЧ із серії дослідів.

Отже, із урахуванням фізичних особливостей електродвигунів, частоти, характерні для різних видів дефектів визначаються наступним чином:

$$f = fn \pm \theta, \quad (3)$$

де  $fn$  - частота відповідного дефекту, яка визначається у відповідності із існуючими залежностями.

В умовах сучасних підприємств, якість споживаючої напруги не є ідеальною, що в свою чергу може істотно впливати на формування спектрального шуму АД. Дану особливість необхідно враховувати при використанні апарату нейронних мереж, наприклад, використовуючи деякий критерій розпізнавання дефектів.

У якості критерію розпізнавання дефектів для експертної системи запропоновано використовувати відносне значення спектральної густини електродвигуна (децибел), вимірювану в дБ. Це дозволяє врахувати несиметрію напруги живлення, яка може істотно вплинути на кінцевий діагностичний результат. В якості вихідної величини (базисної) було обрано еталонні значення амплітуд на характерних для дефектів частотах. Під еталонними слід розуміти значення, отримані при навчанні нейронної мережі, тобто при запам'ятовуванні спектрального шуму АД у справному стані [15].

У загальному випадку, діагностичний критерій розпізнавання виникнення дефекту, який дає можливість моніторингу поточного стану електродвигуна у цілому, має наступний вигляд:

$$\Delta k = \sum_{i=1}^n 10 \lg \frac{A_{iП}(\varphi \pm \theta)}{A_{iE}(\varphi \pm \theta)}, \quad (4)$$

де  $A_{iE}(\varphi \pm \theta)$ , та  $A_{iП}(\varphi \pm \theta)$  - еталонне та поточне значення амплітуди струму електродвигуна відповідно,  $\varphi$  - частота, яка характерна для виникнення того чи іншого дефекту,  $n$  - кількість досліджуваних дефектів,  $\theta$  - коригуючий коефіцієнт.

У свою чергу, при виникненні дефекту,  $\Delta k$  повинен приймати наступне значення:

$$\Delta k > \delta, \quad (5)$$

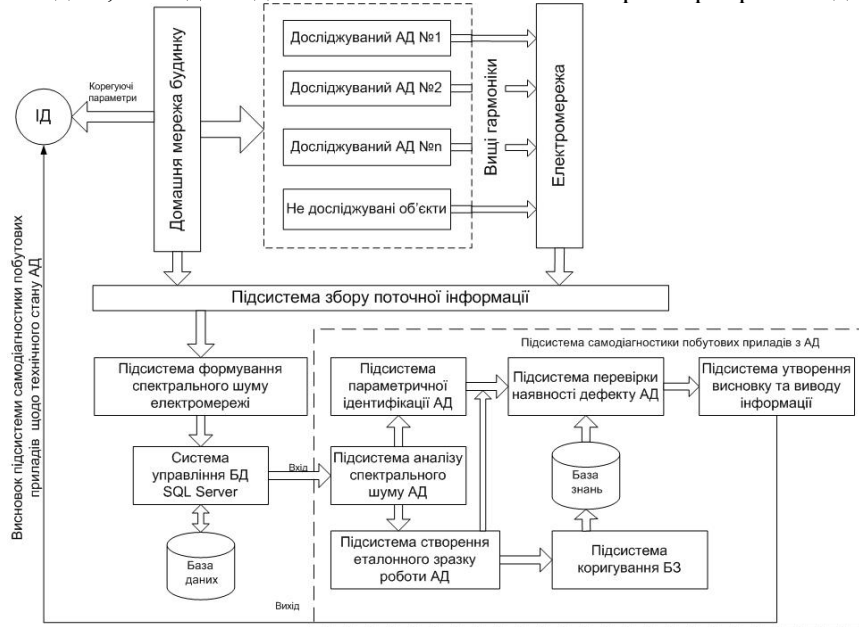
де  $\delta$  - поріг чутливості, за допомогою якого можна регулювати та контролювати несиметрію споживаючої напруги, вплив шумів тощо, яка впливає на формування. Діапазон чутливості встановлюється експериментально, відносно технологічно-конструктивних особливостей обладнання та електромережі. У випадку інформаційної системи «Інтелектуальній дім» діапазон чутливості визначається автоматично у режимі навчання.

У загальному випадку модель підсистеми визначення технічного стану побутової техніки з АД на основі групової спектр-струмової діагностики АД та її інформаційні потоки представлені на рис. 1. Де досліджувана побутова техніка з АД під'єднується до однофазної електромережі живлення і у процесі своєї роботи та власних конструктивних особливостей утворює у електромережі вищі гармоніки. У свою чергу, з метою подальшого дослідження вищих гармонік підсистема збору поточної інформації, яка може бути представлена звичайним аналогово-

цифровим перетворювачем (АЦП), перетворює аналоговий сигнал у цифровий з подальшим формуванням спектрального шуму електромережі для аналізу [8,9].

Завданням підсистеми управління базами даних (СУБД) є збереження та управління всіма необхідними даними для правильної та ефективної роботи СППР. Зокрема до таких даних можна віднести:

- дані, які відповідають за збереження еталонного зразку роботи досліджуваного АД;
- дані, які відповідають за поточні значення параметрів роботи досліджуваного АД.



**Рис. 1.** Модель підсистеми визначення технічного стану побутової техніки з АД на основі групової спектр-струмової діагностики АД та її інформаційні потоки представлена

Остаточне рішення щодо стану підключених до електромережі побутових приладів з АД виконує інформаційна система «Інтелектуальний дім» (ІД).

Але слід відмітити те, що особливостями сучасних електромереж є наявність скачків напруги, перенавантаження мережі живлення особ-

ливо у опалювальний період та інших чинників які впливають на якість електромережі. Тому у відповідності до особливостей підсистеми «Інтелектуальний дім» необхідно дану особливість враховувати, наприклад, коригувати відповідні висновки які може прийняти ІД відповідно до умов або особливостей домашньої мережі будинку.

Отже, з метою врахування особливостей домашньої мережі будинку інформаційні потоки запропонованої інформаційної системи приймуть наступний вигляд (рис. 2).

На рис. 2:  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  - спектр шуму електромережі;  $I(t)$  - струм;  $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$  - вищі гармоніки створюванні АД;  $X_{\text{скпр}}$  - рішення щодо поточного стану АД;  $\alpha(t)$  - характер робочого процесу;  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$  - вищі гармоніки створюванні іншими не досліджуваними об'єктами;  $Z(t)$  - характер завантаженості АД;  $\varphi(t)$  - характер роботи не досліджуваних об'єктів; ХРО- рішення ІД; ІД – інформаційна система «Інтелектуальний дім»;  $\delta$  - вектор параметрів налаштування підсистеми самодіагностики побутової техніки з АД інформаційної системи «Інтелектуальний дім».

На основі запропонованих моделей інформаційних потоків можна зробити висновок, що єдиним параметром який необхідно зберігати у БД є спектр шуму електромережі. У свою чергу весь спектр шуму електромережі запису до БД не підлягає, а тільки характерні частоти (ХЧ).



**Рис. 2.** Узагальнена інформаційна модель автоматизованого прийняття рішень ІД

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Запропоновано модель підсистеми «Інтелектуальний дім» ідентифікації двигуна у електромережі на основі спектр-струменевого аналізу вищих гармонік, які утворює АД, яка відрізняється автоматичним створенням еталонного зразку роботи двигуна шляхом запам'ятовування спектрального шуму роботи та порівнянням його із поточним, що дозволяє підвищити ефективність розпізнавання аварійних ре-

жимів електродвигуна на основі стійкості визначення параметрів двигуна у відповідності до статичних та динамічних навантажень.

На основі отриманих результатів доцільно проводити дослідження в напрямку створення інформаційної системи «Інтелектуальний дім» самодіагностики побутових приладів з АД у комплексі із іншими типами двигунів.

#### Список літератури

1. **Серый Е.В.** Рейтинг дефектов низковольтных электродвигателей. /Рынок Электротехники, № 2, 2007 г.
2. Концепт розумного будику [Електронний ресурс] IXBT.-Москва, 2014.- Режим доступу: <http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?18/23/97>.- Дата доступу: 20.02.2015
3. Mohamed El Hachemi Benbouzid/ Induction Motors' Faults Detection and Localization Using Stator Current Advanced Signal Processing Techniques/ IEEE TRANSACTIONSON POWE RELECTRONICS, VOL.14,NO.1,JANUARY1999
4. **Каган А.В.**/ Математическое моделирование в электромеханике ч.2 письменные лекции. СПб: СЗТУ, 2002 – 13 с из 77с.
5. **Кузнецов Д.І.** Експертна система розпізнавання дефектів електрообладнання / **Д.І. Кузнецов, А.І. Купін** // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: зб. матеріалів III всеук. наук.-техн. конф. 2012р.- Донецьк: ДонНТУ, 2012.-С.185-187.
6. **Конох И.С** Разработка и исследование интеллектуальной системы регулирования параметров микроклимата помещения/ **И.С. Гула, С.В. Сукач** // Электромеханические и энергосберегающие системы. – Кременчуг: КНУ, 2010. – Вып. 3/2010 (11). – С. 80–85.
7. **Мансуров Р. Ш.** Экспериментальное исследование переходных процессов в системах обеспечения микроклимата / Сб. докладов 4-й международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М. : МГСУ, 2011.
8. **Кувшинов Ю. Я.** Динамические свойства помещения с регулируемой температурой воздуха // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1993. – № 4
9. Управление микроклиматом [Электронный ресурс] /Мир автоматизации.-Москва, 2009.-Режим доступа: <http://www.soliton.com.ua/pr/MA-2009-Feb-Produal-small.pdf>.- Дата доступа: 20.01.2015.
10. **Khadim Moin Siddiqui.** Fault diagnosis in induction motors by motor current signal analysis / Khadim Moin Siddiqui, V.K. Giri // International Journal of Electronics & Communication Technology. – 2011.– vol 2.– pp 114 – 119.
11. **Didier G.** Fault detection of broken rotor bars in induction motor using a global fault Index / **Didier G., Ternisien E., Caspary O** // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2006. – vol. 42. – pp. 79–88.
12. **Whitley D.** Genetic Algorithms and Neural Networks: Optimization Connections and Connectivity / **Whitley D., Starkweather T., Bogart C.** – Parallel Computing, 1990. –231 pp. (Vol. 14).
13. **Анил К. Д.** Введение в искусственные нейронные сети / **Анил К.Д.** – М.: Открытые системы, 1997.– 234 с.
14. **Said M.** Detection of broken bars in induction motors using an extended Kalman filter for rotor resistance sensorless estimation / **Said M., Benbouzid M., Benchaib A.** // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2000. – vol 15, № 1. – pp. 66–70.
15. **Кузнецов Д.І.** Структура експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / **Д.І. Кузнецов, А.І. Купін** // Стратегія якості в промисловості та освіті: IX міжнар. наук.–практ. конф. 2013р.: тези доповідей. Варна, 2013. – С.333–335.

Рукопис подано до редакції 04.02.16

УДК 621.039 : [622+669]

В. С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц.,  
К.В. ЛОБОВА, студентка, Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ - МАЙБУТНЄ РОЗВИТКУ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Визначено, що при незмінній технології обсяг виконаної роботи на гірничо-металургійному комплексі пропорційний кількості спожитих енергоносіїв, а потужність - продуктивності технологічного процесу. За теперішнім станом технологічне обладнання використовується не ефективно, фізично зноситься і морально застаріло. Раніше при нарощуванні обсягів виробництва, не зверталася увага і не виділялися кошти на переоснащення, модернізацію і реконструкцію виробничих потужностей. Тому гірничо-металургійний комплекс має недосконалу галузеву і технологічну структуру, низьку ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів.

Метою роботи стало необхідність показати заходи щодо здійснення технічного переозброєння та модернізації виробництва, направлених на зниження енергетичних витрат і підвищення продуктивності виробництва конкурентоспроможної металопродукції. Обґрунтовані можливості вирішення питань цієї мети за рахунок використання на гірничо-металургійному комплексі альтернативної енергії, такої як ядерна енергія, яка до 2030 року знайде широке застосування в різних галузях виробництва. Запропоновано використовувати ядерну енергію за допомогою принципово нових атомних станцій малої потужності останнього покоління з енергоблоками електричною потужніс-