

5. **Тронь В.В.** Формування адаптивного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта / **В.В. Тронь, К.В.Маєвський** // Гірничий вісник: наук.-техн. зб. ДВНЗ «КНУ». - 2015.- Вип. 99.- С. 27-32.
6. **Маляров П.В.** Основы интенсификации процессов рудоподготовки / **Маляров П.В.** – Ростов-на-Дону: Рост-издат, 2004. – 320с.
7. **Науменко Ю.В.** Основы теории режимов работы барабанных млинов: [монографія] / **Науменко Ю.В.** – Рівне: Видавництво СПД Зелент, 2009. – 282с.
8. **Herbst J.A.** Model-based control of mineral processing operations / **J.A. Herbst, W.T. Pate, A.E. Oblad** // Powder Technology. – 1992. – Vol.69. – P. 21-32. – ISSN 0032-5910.
9. **Линч А. Дж.** Циклы дробления и измельчения / **Линч А. Дж.**: [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981. – 342с.
10. Измельчение. Энергетика и технология / [**Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.**]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. – 296 с.
11. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [**Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.**]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
12. **Кондратець В.О.** Автоматизація процесів керування розрідженням пульпи при подрібненні руди барабаними млинами / **Кондратець В.О., Сербул О.М., Мацуї А.М.**; за ред. В.О. Кондратця. – Кіровоград: КОД, 2013. – 368с.
13. **Мацуї А.М.** Моделювання формування пісового потоку у пісовому жолобі механічного односпіралного класифікатора / **А.М. Мацуї, В.О. Кондратець** // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях: зб. наук. праць. – 2016. – №16. – С.53-59.
14. **Мацуї А.М.** Дослідження нелінійної системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора / **А.М. Мацуї, В.О. Кондратець** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2013. – Вип. 26. – С.161-168.
15. Основы автоматического регулирования и управления / [**Каргу Л.И., Литвинов А.П., Майборода Л.А. и др.**]; под. ред. В.М. Пономарева и А.П. Литвинова. – М.: Высш. школа, 1974. – 439 с.
16. **Кондратець В.О.** Технічне забезпечення допустимої похибки ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспіралного класифікатора / **В.О. Кондратець, А.М. Мацуї** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. – Вип.37. – С.59-63.
17. **Грабко В.В.** Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання / **В.В. Грабко, М.М. Мошноріз.** –Вінниця: ВНТУ, 2011. – 138 с.
18. Системы фазовой синхронизации / **С.Н. Складенко, А.В. Стеклов, Р.В. Уваров, В.М. Чмиль.** – К.: Техніка, 1994. – 160 с.

Рукопис подано до редакції 21.02.17

УДК 004.67

І.О. МУЗИКА, канд. техн. наук, доц., Д.І. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, ст. викл.  
Криворізький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ У СИСТЕМАХ ТИПУ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ДІМ»

**Мета.** Метою роботи є розробка інформаційної системи енергоменеджменту у промисловому і приватному секторі, який являє собою постійну діяльність, направлену на енергозбереження, яке ґрунтується на перевірці, що враховує моніторинг і вимірювання, внутрішні аудита та коригувальну діяльність, а також включає розробку та впровадження новітніх енергозберігаючих заходів і інформаційних систем. Системи «Інтелектуальний дім» дають змогу, у автоматичному режимі, виконувати управління енергозабезпеченням, опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням тощо. У свою чергу, наявність сучасних бездротових технологій дозволяють власнику будинку вести енергомоніторинг будь-якого електрообладнання. На даний момент існуючі розробки та технологічні рішення, щодо автоматичного енергообліку побутової техніки вимагають наявності спеціалізованих блоків або видів побутової техніки з інтегрованими елементами діагностики, що є досить дорогим рішенням для впровадження у систему «Інтелектуальний дім».

**Методи дослідження.** У даній статті авторами запропоновано метод енергоменеджменту побутової техніки на основі спектрального аналізу електромережі у якій працюють побутові прилади з асинхронними двигунами.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють виконувати непрямий енергомоніторинг побутової техніки.

**Практична значимість.** Завдяки виконанню автоматизації на основі запропонованого підходу кожна частина 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 енергоменеджмент побутової техніки, опалювального обладнання тощо. Наприклад, визначення надмірного споживання енергії електрокотлом, яке відрізняється

від встановленого, неправильної роботи або роботи у аварійних режимах побутової техніки, що призводить до підвищеного споживання електроенергії.

**Результати.** Використання запропонованого підходу також, додатково, дозволить 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, енергоменджмент, асинхронних двигун, інформаційна система, спектр-струмовий аналіз, побутова техніка.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Будь-яка людина, родина, громада не може обходитись без споживання енергії. Україна є однією із країн світу, де енергія використовується не ефективно (рис.1). Тому, зважаючи на енергозалежність, використання сучасних програмно-апаратних систем з метою енергозбереження є пріоритетним досліджень [1].

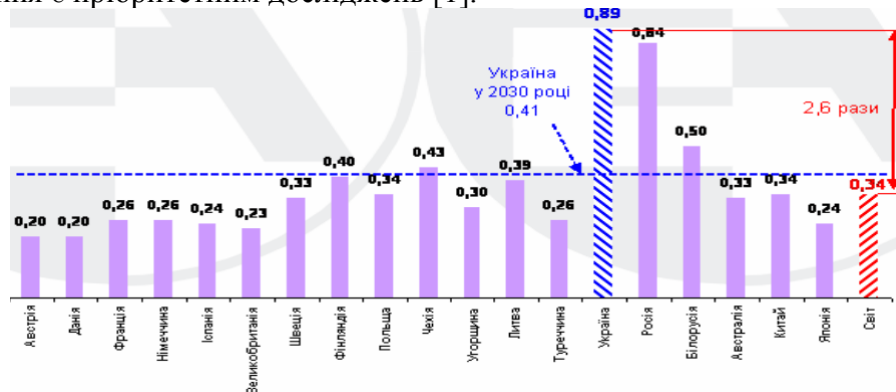


Рис. 1. Енергоємність ВВП країн світу, кг у.п./\$ США

Зважаючи на те, що значна частина витрат міст, населених пунктів та приватних будівель йде на покриття комунальних послуг, питання підняття енергоефективності та проведення енергоменджменту є актуальним.

Слід зазначити, що 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 [2]. 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 та самоко-

нтролю побутової техніки можливі тільки для окремого типу техніки, тобто в якій дана функція закладена у конструкцію [5].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Одними із проблемних областей у питанні економії електроенергії є житлово-комунальна сфера та підприємництво. Однією із існуючих та запроваджених технологій є система моніторингу енергоспоживання типу «Energoauditor»[2]. У результаті її впровадження можливо економити до 30% теплової та 15-20% електроенергії. В основі даної системи є безперервний моніторинг, в автоматичному режимі, загальнодоступних технічних ресурсів (електролічильники, стандартні ЕОМ, датчики та ін.). Дана система дозволяє здійснювати контроль за споживанням теплової та електроенергії, а також управління на великій віддаленості об'єктів один від одного, а результати моніторингу представляються у вигляді таблиць та графіків.

Іншою системою автоматизованого контролю та моніторингу енергоспоживання є програмно апаратний комплекс фірми InlineGroup [3]. Який складається з спеціалізованого електролічильника «Меркурій-230» та програмного забезпечення компанії ПРОСОФТ. Дана система дозволяє проводити аналіз спожитої електроенергії у масштабах населеного пункту, що охоплює близько 100 будинків.

Також, досить потужною системою моніторингу енергоспоживання є система контролю «САТКОН-А» компанії «Сучасні технології» [4], яка дозволяє оперативно визначати небаланс за кожною фазою, контроль за обривом лінії, станом запобіжників, передачі первинної та аналітичної інформації до датчиків перетворення інформації.

Також слід відмітити, те що існують досить поширені інформаційні технології, методи та засоби цифрової діагностики та енергомоніторингу електрообладнання, зокрема асинхронних електродвигунів (АД). Даний тип двигунів 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.

У силу своїх досягнень, всі розглянуті розробки та програмно-апаратні комплекси мають один головний недолік, а саме використання датчиків для зняття інформації з об'єктів, що може бути нераціональним з економічної точки зору для подальшого їхнього впровадження на підприємстві, житлово комунальній сфері, тощо.

Серед існуючих методів [5, 15], 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 використання математичного апарату спектрального аналізу та нейронних мереж, з метою енергомоніторингу побутової техніки яка містить АД. Задача є актуальною, оскільки її вирішення забезпечить зменшення ймовірності роботи обладнання у аварійних режимах, і як результат, зменшення енергоспоживання.

**Викладення матеріалу та результати.** Як і будь-яке обладнання, електродвигуни у процесі своєї експлуатації піддаються дефектам, що у свою чергу може спричинити до збільшення споживання електроенергії або їх повного виходу з ладу. В основі розроблюваної інформаційної системи є аналіз спектр-струмевих характеристик електродвигунів з використанням математичного апарату розкладу функції у ряд Фур'є для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики для подальшого її аналізу засобами нейронних мереж.

Як відомо, кожне електрообладнання, а особливо електродвигуни, характеризується негативною властивістю - утворення гармонік вищих порядків, які «забруднюють» електромережу, і можуть спричинити утворення пошкоджень у електрообладнанні [6].

Аналіз залежностей виникнення «ефекту» підвищеного енергоспоживання АД [15] показав ефективність використання струму в якості діагностичного параметру в інформаційній системі енергомоніторингу 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 енергомоніторингу побутової техніки у якості основного методу було обрано спектр-струмовий метод [5, 15]. При цьому наявність виникнення того чи іншого дефекту, який, у свою чергу, може спричинити до підвищеного енергоспоживання, 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,  $Se_g$  – середнє значення амплітуд:

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

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

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

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:

$$f = f_n \pm \theta \quad (3)$$

де  $f_n$  - 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 критерій розпізнавання дефектів  $\Delta k$  [].

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 свою чергу, при виникненні ймовірності підвищеного енергоспоживання,  $\Delta k$  повинен приймати наступне значення:

$$\Delta k > \delta \quad (4)$$

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. 2. Де досліджувана побутова техніка з АД під'єднується до однофазної електромережі живлення і у процесі своєї роботи та власних конструктивних особливостей утворює у елект-

ромережі 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].

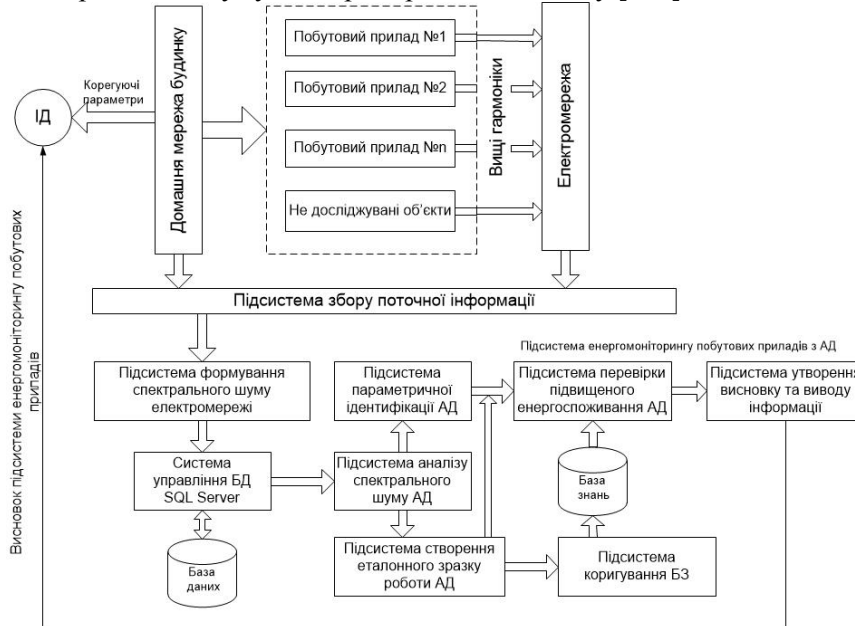


Рис. 2. Модель підсистеми енергомоніторингу побутової техніки з АД на основі групової спектр-струмової діагностики АД та її інформаційні потоки

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.

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

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Моніторинг енергоспоживання електрообладнання є актуальним та проблемним питанням на сучасних підприємствах, житлово-комунальній сфері, тощо. Своєчасна ідентифікація надмірного енергоспоживання може призвести до значного економії коштів або своєчасної перевірки обладнання на предмет дефектів. Запропоновано структуру підсистеми «Інтелектуальний дім» енергомоніторингу 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 режимів 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. Система моніторингу енергоспоживання [Електронний ресурс] / Соколов С.А //Інновації та підприємництво – 2010. – Режим доступу: <http://www.innovbusiness.ru/projects/view.asp?r=205>.

2. Сучасний стан енергоменеджменту в Україні [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Українського фонду соціальних інвестицій.-Київ, 2015.-Режим доступу: [www.usif.org.ua](http://www.usif.org.ua).
3. Концепт розумного будинку [Електронний ресурс] IXBT.-Москва, 2014.- Режим доступу: <http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?18/23/97>.- Дата доступу: 20.02.2015.
4. 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
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 21.02.17

УДК 519. 95: 621.3

Ю.С.РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Ю.БЕЛОНОЖКО, ст. преп.  
ГВУЗ «Криворізький національний університет»

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Технологические системы современных промышленных предприятий относятся к классу сложных систем [1, 2]. В системных исследованиях понятие «сложная система» применяется тогда, когда становится невозможным или достаточно трудным осуществить точное описание, исследование и предсказание поведения системы. Функция сложной системы – достижения заданных целей, предписанных назначением системы. Для проектирования, изготовления и эксплуатации сложных систем необходимо иметь средства для ее описания, которые позволят изобразить многообразие состояний системы в пространстве и времени с помощью той или иной информационной системы отсчета. Описание системы - это идентификация ее определяющих элементов и подсистем, их взаимосвязей, целей, функций и ресурсов, т.е. описание допустимых состояний системы [3, 4]. Очевидно, что это описание должно быть адекватным, однозначным и удобным для использования в практике. Применяемые для этих целей средства пока еще весьма несовершенны, хотя бы потому, что нет возможности составить описание сложной системы на од-