

3. Луценко С.А. Определение перспективных контуров карьеров разрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения / В.Г.Близнюков, С.А.Луценко, И.В.Баранов // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць, вип. 41. – Кривой Рог, 2016. – С. 147-152.
4. Близнюков В.Г. Определение перспективных контуров карьеров разрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения / В.Г.Близнюков, С.А.Луценко, И.В.Баранов. - Гірничий вісник. – Кривой Рог, 2016. – Вип. 101. – С. 18-24.
5. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров / А.И.Арсентьев. – 2-е издание переработанное и дополненное. – М.: Недра, 1970. – 319 с.
6. Арсентьев А.И. Развитие методов определения границ карьеров / А.И.Арсентьев, А.К.Полищук. - Л.: Наука, 1967.
7. Ржевский В.В. Проектирование контуров карьеров / В.В.Ржевский. – Москва: Металлургиздат, 1956.
8. Хохряков В.С. Проектирование карьеров / В.С.Хохряков – М.:Недра, 1980.
9. Близнюков В.Г. Определение главных параметров карьера с учетом качества руды / В.Г.Близнюков – М.: Недра, 1978. – 151 с.
10. Определение перспективных границ и производительности Первомайского карьера ПАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит. Том I) // Академия горных наук Украины. № ГР 0115U002577. – Кривой Рог, 2014. – 93 с.
11. Определение перспективных границ карьера, обеспечивающих конкурентоспособность железорудной продукции Полтавского ГОКа: Отчет о НИР (заключит.) // Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет». № ГР 011U003099. – Кривой Рог, 2014. – 115 с.
12. Близнюков В.Г. Исключение субъективных факторов при определении конечных контуров железорудных карьеров в составе ГОКов / В.Г.Близнюков, И.В.Баранов, А.В.Савицкий // Вісник Криворізького національного університету: Зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 31. – С.3-6.
13. Луценко С. А. Определение границ карьеров, обрабатывающих мощные крутопадающие залежи / С.А.Луценко // Изв. Вузов. Горн. Журнал. – №4. – 2016. – С. 10-18.
14. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых, К.: - Министерство промышленной политики Украины, 2007.
15. Научно-исследовательская работа «Определение рациональной стратегии развития транспортной схемы Первомайского карьера ПАО «СЕВГОК». – «МИ-ЦЕНТР». – Кривой Рог, 2013.

Рукопис подано до редакції 26.06.2019

УДК 004.896

Д.І. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доцент
Криворізький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ SMART GRID МЕРЕЖ

Мета. Метою роботи є розробка інформаційної системи для визначення поточного стану та ідентифікації будь-якого енергетичного обладнання головним елементом якого є асинхронний двигун, зокрема визначення несправностей та підвищеного енергоспоживання в енергетичних мережах типу Smart Grid. З метою реалізації поставлених задач запропоновано використання модульної структури Smart Vox діагностуючих пристроїв. Зокрема, представлено модель модульної інформаційної кіберфізичної системи із застосуванням Smart Vox пристрою для ранньої технічної діагностики електрообладнання та його інформаційні потоки.

Методи дослідження. У даній статті автором запропоновано структуру інформаційної системи для ранньої діагностики промислового та приватного електрообладнання на основі використання підходів та стандартів Industry 4.0, зокрема концепції Internet of Things у межах енергетичних мереж типу Smart Grid.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють у якості обчислювального ядра Smart Vox пристрою використовувати структуру нейро-нечіткої мережі, яка складається з 5 шарів. Особливістю даної системи є можливість зміни кількості термів вхідних змінних з метою підвищення якості ідентифікації асинхронних двигунів.

Практична значимість. Завдяки виконанню автоматизації на основі запропонованого підходу можливо розподілювати усі технологічні об'єкти підприємства на окремі структурні одиниці, які можуть бути частиною інформаційного кластеру. Це дозволяє зменшити час реакції в кластерній системі до 35 %, у порівнянні зі звичайною. Також, використання даного типу системи дозволяє зменшити кількість спеціалізованого обладнання у межах використання однотипного енергетичного обладнання.

Результати. Отримані результати дослідження у вигляді моделі модульної інформаційної системи можливо використовувати при побудові апаратно-програмних модулів для діагностики технологічного та побутового електрообладнання. У свою чергу, дані модулі можуть об'єднуватися у загальну глобальну мережу IoT в межах енергетичної системи типу Smart Grid.

Ключові слова: інформаційна система, Industry 4.0, рання діагностика, кіберфізична система, асинхронний двигун, Smart Grid.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогоднішній день, головними енергетичними робочими одиницями сучасних підприємств є електроприводи. У більшості випадків основними елементами яких є багатофазні асинхронні електродвигуни (АД). Даний вид електродвигунів досить поширений. Про це свідчить те, що вони споживають приблизно 40% електроенергії, яка виробляється у світі [1, 2]. Головною особливістю даного типу обладнання є висока пошкоджуваність, зокрема, середній строк їх роботи двигунів без капітального ремонту складає 10-15 років. Несвоєчасне виявлення аварійних режимів роботи АД призводить до порушення безперервності технологічних процесів з наступним браком продукції, витратами на відновлення і ремонт електродвигунів, підвищеного енергоспоживання тощо. Зокрема, це питання дуже актуальне у гірничозбашачувальній промисловості та металургії, де раптовий вихід із ладу електрообладнання може практично зупинити велику частину виробництва [3, 4].

Сучасні інструментальні засоби та методи технічної діагностики електрообладнання переважно базуються на використанні різних датчиків, які під'єднуються безпосередньо до об'єкту (тобто прямих методів). Зокрема, більшість із них використовуються під час планового ремонту або поточної діагностики [1, 5]. Слід відмітити що, автор у понятті планової діагностики та ремонту мають на увазі часткове або повне зупинення технологічного процесу у якому об'єкт аналізу брав участь. Під ранньою або поточною діагностикою, відповідно, мається на увазі моніторинг поточного стану досліджуваного об'єкту без його безпосереднього вилучення із технологічного процесу. Головною перевагою поточної (ранньої) технічної діагностики перед плановою є відносно малий проміжок часу (до декількох секунд) отримання результатів. Також, рання діагностика дозволяє попередити аварійні режими роботи промислового та побутового обладнання.

До головних особливостей інформаційних систем які використовують підходи та концепції IoT можна віднести процес постійного обміну інформацією між пристроями підприємства без посереднього залучення людини. Це дозволяє накопичувати та аналізувати інформацію у автоматичному режимі, виконувати управління без впливу людини. Інакше кажучи, IoT дає можливість створювати самоорганізовану та самоадаптовану інформаційну систему, не тільки в межах деякого підприємства, а і у межах усього світу. Тобто, з точки зору діагностики та моніторингу поточного стану електрообладнання це дозволяє створити та впровадити інформаційну систему з можливостями до навчання та самодіагностики.

Актуальною задачею для подальшого розвитку інформаційних систем аналізу та моніторингу поточного стану електрообладнання є розробка самодіагностичних технічних систем, які входять до складу глобальної мережі IoT в межах енергетичних мереж типу Smart Grid. Зокрема, розробка методів та підходів для створення безпосередньо елементів мережі «Розумних коробок (речей)» (Smart Box) та «Розумних додатків» (Smart App), розробки мережі доступу до передачі даних (мобільну або фіксовану), а також розробки платформи для управління мережею IoT, зокрема при управлінні Smart Box та Smart App.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, для реалізації мережі доступу до елементів IoT використовуються уніфіковані спеціалізовані стандарти [6]. Зокрема, стандарт eMTC (enhanced Machine-Type Communication) розгортається на основі мобільних мереж LTE, а EC-GSM-IoT (Extended Coverage – GSM – Internet of Things) працює поверх мережі GSM. Але найбільш популярним є стандарт NB-IoT (Narrowband IoT). Його особливість полягає в тому, що він може бути розгорнутий, як в мережах GSM або LTE, так і незалежно, окремою мережею, наприклад, Ethernet. Отже, можна зробити висновок, що при проектуванні та розробці SmartBox необхідно враховувати уніфіковані вищезазначені стандарти організації зв'язку для реалізації майбутньої платформи для їхньої взаємодії.

На основі проаналізованої літератури за тематикою дослідження, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день велика кількість компаній по виготовленню енергетичного обладнання займається дослідженнями у сфері інновацій для систем IoT. Зокрема, компанія LG створила технологію інтелектуальної самодіагностики Smart Diagnosis та систему управління енергоспоживанням Smart Grid Ready [7]. Дані технології дозволяють останнім версіям побутової техніки даної компанії краще проводити самодіагностику та інформувати про це користувача. За допо-

могою Wi-Fi, NFC і звукових діагностичних сигналів, власник повідомляється про незначні проблеми. Наприклад, виключення льодогенератора або виникнення аварійних режимів роботи електродвигуна пральної машини. Це сприяє ранньому діагностуванню пошкоджень та неправильної роботи електрообладнання. Головним недоліком даної системи є використання власних протоколів та режимів роботи «розумної» техніки, що унеможливує її використання на іншому обладнанні, наприклад пральній машині іншого виробника.

Досить потужною інформаційною системою для IoT у сфері діагностики електрообладнання є програмна платформа Winnum [8]. Дана система є інтегрованим середовищем яке забезпечує збір, зберігання та обробку великих обсягів даних (BigData). Це дозволяє виконувати моніторинг роботи вузлів системи, зокрема моніторити статус та технічний стан електрообладнання. Існує можливість відновлення подій, які передували аварійному виходу із ладу. Головним недоліком даної системи є обмежене коло підтримуваних енергетичних пристроїв, зокрема тільки промислових станків з людинно-програмним управлінням та обмеженим колом працюючих АД.

Слід відмітити те, що існують інформаційні технології, методи та апаратні засоби для цифрової діагностики АД, як складової частини електрообладнання, які використовують спектр-струмовий аналіз електромережі. Даний метод дозволяє досліджувати АД без безпосереднього під'єднання до об'єкту дослідження [1, 9]. При спектр-струмовому аналізі найчастіше використовують пряме перетворення Фур'є для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики у реальному часі. До головних недоліків інформаційних технологій, які використовують спектр-струмовий аналіз, можна віднести використання великої кількості датчиків, необхідність наявності експерта, як кінцевого елемента який приймає рішення щодо технічного стану обладнання.

З метою, забезпечення зменшення кількості використовуваних датчиків, пропонується використовувати непрямий спосіб діагностики комплексу АД започаткований у дослідженнях [1, 18] і який базується на основі спектр-струмового аналізу електромережі. Це дозволить у подальшому реалізовувати модульні Smart Box пристрої як елементи загальної IoT мережі. Як результат, це надасть можливість використання меншої кількості діагностуючих датчиків та реалізацію уніфікованої управляючої платформи для різних модулів Smart Box.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка концепції модульної інформаційної системи для ранньої діагностики енергетичного обладнання на основі використання принципів та стандартів Industry 4.0, зокрема IoT в межах енергетичних мереж типу Smart Grid.

Викладення матеріалу та результати. Типова логіко-функціональна схема підприємства яке використовує принципи Industry 4.0, зокрема IoT представлена на рис. 1.

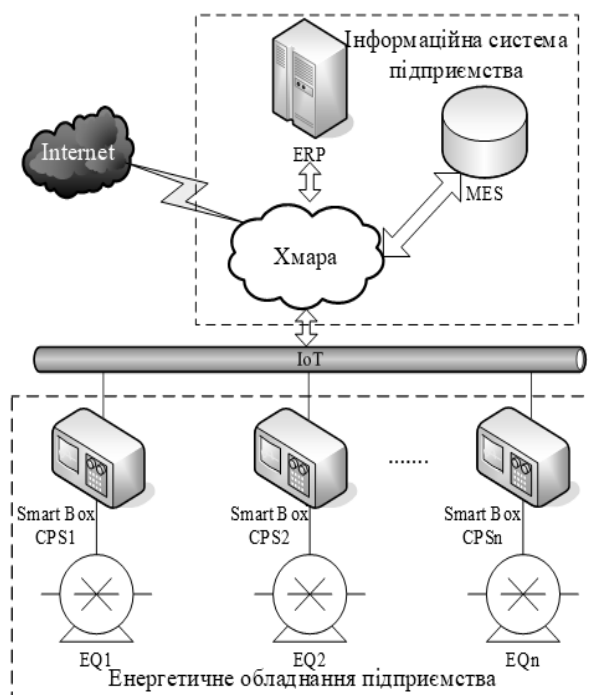


Рис. 1. Логіко-функціональна схема підприємства із використанням Smart Box діагностуючих пристроїв

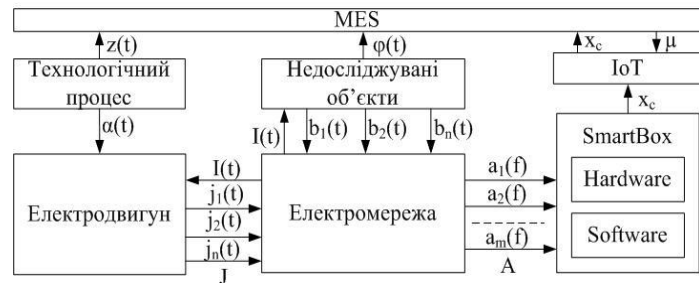
На рис.1 представлено ERP (планування ресурсів підприємства) – це інтегроване управління основними бізнес-процесами яке опосередковане програмним забезпеченням та технологією виробництва. MES (Виробничі системи виконання) – це комп'ютеризовані системи, що використовуються у виробництві, для відстеження та документування перетворення сировини в готові вироби. Smart box – програмно-апаратний пристрій, який використовується для зчитування поточної інформації із досліджуваного об'єкту, зокрема спектральні характеристики обладнання. Це здійснюється за допомогою датчиків струму. EQ1, EQ2, ..., EQn – обладнання з якого зчитується поточна інформація. У даному випадку це електродвигуни.

Слід відмітити, що MES забезпечує

інформацію, яка допомагає виробникам, які приймають рішення, зрозуміти, як можна оптимізувати поточні режими роботи обладнання. У свою чергу це дозволяє підвищити продуктивність виробництва на основі оптимальної роботи з мінімізацією витрат на технічну діагностику та подальший ремонт.

Отже, на основі представленої логіко-функціональної схеми (рис. 1) типова схема інтеграції Smart Vox пристрою для визначення технічного стану досліджуваного об'єкту прийме наступний вигляд (рис. 2)

Рис. 2. Схема інтеграції Smart Vox пристрою для визначення технічного стану досліджуваного об'єкту: $A=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – спектр шуму електромережі; $I(t)$ – струм; $J=\{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ – вищі гармоніки, створювані електрообладнанням у електромережі; x_c – рішення щодо поточного стану електродвигуна; $\alpha(t)$ – характер робочого процесу; $\beta=\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ – вищі гармоніки, створювані іншими недосліджуваними об'єктами; $z(t)$ – характер завантаженості електродвигуна; $\varphi(t)$ – характер роботи недосліджуваних об'єктів; μ – вектор параметрів налаштування SmartVox пристрою



Слід зазначити, що у більшості випадків Smart Vox складається з двох частин: Hardware та Software. До Hardware можна віднести використання мікроконтролерів, різноманітних датчиків та комутуючих пристроїв із середовищем передачі даних. До Software можна віднести програмне забезпечення яке першочергово оброблює первинну інформацію з подальшим її частковим аналізом. Безпосередній та більш ширший аналіз відбувається на рівні мережі IoT та загальної інформаційної платформи підприємства (MES).

Розглянуті схеми (рис. 1, 2) являють собою прототипи існуючих систем підтримки прийняття рішень з однією відмінністю, а саме можливість віддаленого моніторингу, планування та управління роботою досліджуваних об'єктів підприємств та домогосподарств. Про що свідчать дослідження та існуючі розробки [6, 10, 11]. Додатково слід зауважити, що використання спеціалізованих інформаційних платформ, виділених баз даних, спеціалізованого програмного забезпечення не дозволяють уніфікувати процес створення SmartVox пристроїв. Як результат – вони потребують наявності спеціалізованих спеціалістів для аналізу технічної інформації за допомогою коштовного програмного та технічного забезпечення.

Автором пропонується нова концепція модульної кіберфізичної системи для ранньої діагностики енергетичного обладнання на основі використання підходів IoT та групового спектрального аналізу згідно із дослідженнями [12]. Зокрема, ключовим елементом будь-якої мережі IoT є Smart Vox. З точки зору підприємства можуть існувати декілька варіантів Smart Vox пристроїв. Вони, окрім вирішуваних завдань, Smart Vox можуть кардинально відрізнитися архітектурою елементів Hardware та Software, що може спричинити додаткові витрати на їх інтеграцію у загальну мережу IoT підприємства. Це може бути пов'язане із використанням додаткового програмного та апаратного забезпечення. Тому, запропоновано виокремлювати кожен SmartVox пристрій у окремий модуль, здатний окрім самоаналізу та самодіагностики виконувати аналіз суміжних із ним Smart Vox пристроїв.

Згідно дослідження [1] АД вони у процесі своєї роботи та власних конструктивних особливостей утворюють у електромережі вищі гармоніки. Тому, з метою подальшого аналізу вищих гармонік підсистема збору поточної інформації перетворює аналоговий сигнал у цифровий з подальшим формуванням спектрального шуму електромережі для аналізу [12]. Дана підсистема може бути представлена у вигляді звичайного аналогово-цифрового перетворювача. Завданням підсистеми управління базами даних (СУБД) є збереження та керування всіма необхідними даними для правильної та ефективної роботи модульного SmartVox пристрою. 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. Підсистема ухвалення висновку та виведення інформації являє собою експертну систему. Слід зазначити, що остаточне рішення щодо технічного стану повинно виконувати MES. Це пов'язано із особливостями технологічного процесу та ймовірністю виникнення помилки у

результаті обчислень, що у свою чергу може спричинити певну похибку при створенні висновків щодо технічного стану обладнання.

Запропонований підхід дозволяє виконувати моніторинг поточного стану устаткування на основі використання меншої кількості SmartBox пристроїв. Зокрема їхня кількість SmartBox визначається типом та кількістю використовуваного обладнання, особливістю технологічного процесу та віддаленістю один від одного. Отже, загальну логіко-функціональну схему підприємства із використанням Smart Box діагностуючих пристроїв на основі модульного принципу можна представити наступним чином (рис. 4).

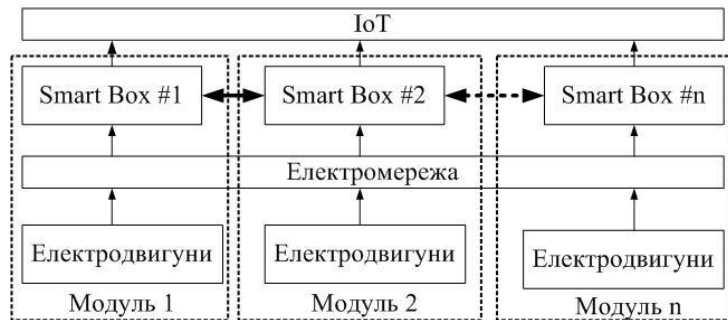


Рис. 4. Модульна мережа Smart Box діагностуючих пристроїв

Слід зазначити, що в межі одного модулю відноситься тільки один Smart Box діагностуючий пристрій та група однотипних електродвигунів які під'єднанні до електромережі. Загалом усі модулі утворюють інформаційний обчислювальний кластер. Особливістю організації об'єктів у кластер є підвищення їхньої продуктивності та надійності.

Також необхідно враховувати те що, Smart Box не може робити вірні висновки тільки на основі експериментальних (поточних) даних. Це пов'язано із неможливістю врахування всіх можливих ситуацій системи, які можуть виникати. Наприклад, в результаті похибок вимірювань датчиків (АЦП), відсутності точної математичної моделі закономірності виникнення дефектів, відмови датчиків тощо. Тому при роботі Smart Box можуть виникати невідповідності класифікацій ситуацій. Для вирішення даної проблеми можна використовувати нечітку логіку, нейромережі, дискримінантний аналіз, дерева класифікації тощо.

На основі розглянутих різновидів систем, для побудови експертної системи Smart Box запропоновано використовувати багаторівневу нечітко-нейромережеву гібридну систему, яка буде складатися із підмереж різних архітектур (нейромережевої та нечіткої логіки).

Висновки та напрямок подальших досліджень. З метою аналізу доцільності та раціональності використання запропонованої концепції модульної кіберфізичної системи для ранньої діагностики було проведено експериментальні дослідження шляхом використання імітаційного моделювання методом Монте-Карло.

Для кожного типу модульного Smart Box пристрою досліджувався час реакції системи на досліджуваний об'єкт τ . Під часом реакції слід розуміти час, протягом якого Smart Box робить висновок про технічний стан електродвигунів. Із кожним етапом експерименту кількість досліджуваних двигунів змінювалася від 1 до 5. Спектральна характеристика та можливий дефект для кожного двигуна генерувалася випадковим чином.

Результати порівнянь реакції стандартного та модульного Smart Box пристрою представлені на рис. 5.

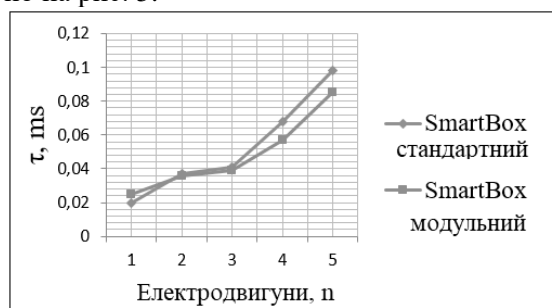


Рис. 5. Результати тестувань стандартного та модульного Smart Box пристрою

Слід зазначити, що рішення задачі технічної діагностики електрообладнання на підприємстві було вирішено за рахунок використання використання концепції кіберфізичних систем. Тобто поєднання Smart Box пристроїв з розумним виробництвом (MES), в якому кожен Smart Box здатен до самодіагностики як окремо, так і у

комплексі. Зокрема, використання модульних Smart Box пристроїв дозволяє зменшити кількість використовуваного обладнання для діагностики. Додатково утворюється можливість створювати кластери з модулів Smart Box, що дозволяє підвищити надійність та продуктивність системи IoT в цілому.

Модульна структура Smart Vox аналізувалась шляхом збільшення діагностованих електродвигунів з 1 до 5, та збільшенням кількості вузлів кластеру від 1 до 4. У якості вузла кластеру використовувався модуль Smart Vox пристрою.

Перевагою запропонованої системи є гнучкість у налаштуванні, так як вона дозволяє використовувати у якості підсистеми ухвалення висновку та виведення інформації до нечіткої системи виводу. Структура нечіткої системи дозволяє з легкістю змінювати параметри термножин, що у свою чергу може підвищити якість розпізнавання дефектів у відповідності до особливостей або умов використання.

До недоліків даної інтелектуальної системи можна віднести неможливість роботи з енергетичними установками, які не містять АД. Також, до недоліків можна віднести ймовірність виникнення помилок пов'язаних із якістю електромережі. Зокрема, перепадів напруги, наявності вищих гармонік від потужнішого в декілька разів енергетичного обладнання.

Запропонована структура модульної кіберфізичної системи для ранньої діагностики енергетичного обладнання, у разі відсутності інтеграції до загальної інформаційної системи підприємства, може являти собою частину IoT приватного домогосподарства. Також вона може бути елементом системи типу «Розумний дім» та працювати автономно.

Перспективою розвитку даного напрямку є вирішення задачі створення концепції альтернативної глобальної мережі IoT для технологічних пристроїв. На думку автора, у свою чергу це надасть змогу значно підвищити якість комунікації пристроїв, збільшення інформативної бази для діагностування.

Список літератури

1. **Купін А. І.** Інформаційна технологія для групової діагностики асинхронних електродвигунів на основі спектральних характеристик та інтелектуальної класифікації: монографія / **Купін А. І., Кузнєцов Д. І.** // Кривий Ріг: Видавель ФОР Чернявський Д.О., 2016. - 200с.
2. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф [Електронний ресурс] / Офіційний сайт державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України.-Київ, 2019.-Режим доступу: <http://sae.gov.ua/sites/default/files/VDE.pdf>.
3. **Morkun, V.** Automation of the ore varieties recognition process in the technological process streams based on the dynamic effects of high-energy ultrasound / **Morkun, V., Tron, V., Goncharov, S.** // Metallurgical and Mining Industry, 2015.-№ 2, p.p. 31-34.
4. **RuEmann, M.** Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries / **RuEmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M.** //The Boston Consulting Group. 2015. URL: <https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf> (дата звернення: 01.04.2018).
5. **Гаевский А.Ю.** Прогнозирование мощности ФЭС на основе спутниковых данных / **А.Ю. Гаевский, О.В. Мельник** // Матеріали XIV Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття», Крим. 16-20 вересня 2013. – с. 248-249.
6. **Lutsenko, I.** Synthesis of cybernetic structure of optimal spooler/ **Lutsenko, I., Fomovskaya E.** // Metallurgical and Mining Industry, No 9, p.p. 297-301.
7. Прогнозування роботи сонячної електростанції [Електронний ресурс] / Офіційний сайт компанії Rentechno.-Київ, 2019.- Режим доступу: <https://rentechno.ua/blog/solar-pv-forecast.html>
8. Сучасний стан енергоменджменту в Україні [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Українського фонду соціальних інвестицій.-Київ, 2015.-Режим доступу: www.usif.org.ua.
9. **Кузнєцов Д.І.** Експертна система розпізнавання дефектів електрообладнання / **Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін**//Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: зб. матеріалів III всеук. наук.-техн. конф. 2012р.- Донецьк.: ДонНТУ,2012.-С.185-187.
10. **Кузнєцов, Д. І.** Інформаційна система енергоменджменту побутової техніки у системах типу «Інтелектуальний Дім»[Текст]/ **Д. І. Кузнєцов, І.О. Музика** //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2017. – №45. – С. 33–38.
11. **Кузнєцов Д.І.** Структура експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / **Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін** // Стратегія якості в промисловості та освіті: IX міжнар. наук.–практ. конф. 2013р.: тези доповідей. Варна, 2013. – С.333–335.
12. **Денисюк С. П.** Аналіз проблем впровадження віртуальних електростанцій [Текст] / **С. П. Денисюк, Д. С. Горенко** // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №2. – С. 25–33.
13. **Lasseter, R.** Microgrid: A Conceptual Solution [Електронний ресурс] / **R. Lasseter, P. Piagi** // PESC'04 Aachen, Germany. – 2004. – Режим доступу: URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.374.8193&rep=rep1&type=pdf>.
14. **Кечкин А. Ю.** Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid [Текст]/ **А. Ю. Кечкин, Е. Н. Соснина, А. В. Шалухо** // Вестник НГИЭИ. – 2015. – С. 50–55.
15. **Wen, C.** Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid [Електронний ресурс] / **C. Wen, Z. Liu, Z. Li** // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering. –2015.– Режим доступу: URL: http://www.atlantis-press.com/php/download_paper.php?id=24810.

Рукопис подано до редакції 24.09.2019

I.A. КОТОВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

АВТОМАТНА МОДЕЛЬ РЕАКТИВНОЇ ТРИГЕРНОЇ СППР ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМОМ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Метою статті є виклад результатів розробки автоматної моделі реактивної тригерної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління режимом енергосистеми. В системі реалізована властивість реактивності за рахунок використання запропонованих апаратно-програмних тригерів. Модель реактивної тригерної системи підтримки рішень інтерактивно пов'язана як з діями користувача-оператора, так і зі станами компонентів енергосистеми. Теоретична розробка і впровадження програмного комплексу тригерної системи підтримки прийняття рішень в середу диспетчерського управління енергосистеми є актуальною науково-технічною проблемою.

Методи дослідження полягають в комплексуванні автоматної моделі станів та тригерної моделі функціонування програмної системи підтримки рішень. При цьому стан автоматної моделі пов'язується з виконанням пакета метаправил для управління логічним висновком. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем (ЕЕС), теорії графів, математичної статистики.

Наукова новизна полягає в новій моделі подієвої взаємодії системи підтримки рішень з енергооб'єктами електроенергетичної системи. Для схеми станів реалізована автоматна модель функціонування з конкретизацією семантики станів, транзакцій і тригерів. Розроблена модель візуалізації автоматного формалізму у вигляді керованих тригерами станів програмної системи. Показано, що структурна схема тригерних станів реалізує базовий набір структур алгоритму. Розроблена схема візуалізації виконання транзакцій, як одного стану програмної системи.

Практична значимість роботи полягає в удосконаленні автоматизації управління режимами енергосистеми шляхом впровадження в середу діючого оперативного інформаційно-управляючого комплексу (ОІУК) розробленої автоматної моделі реактивної тригерної системи підтримки прийняття рішень. Реалізація та впровадження програмного комплексу дозволить скоротити збитки від аварійних ситуацій в енергосистемі, підвищити якість диспетчерського управління режимами і технологічними процесами електричних мереж.

Результатами роботи є подієва модель станів системи підтримки рішень, модель апаратно-програмних тригерів для зв'язку з компонентами енергосистеми, автоматна тригерна модель станів, асоційованих з транзакціями метаправил для запуску та управління логічним висновком в базі знань. Дано визначення стану моделі і транзакції метаправил. Розроблені формальні моделі переходів, транзакцій і функцій виходів станів автоматної моделі. Наведено візуалізація тригерної моделі і принципи її функціонування.

Ключові слова: транзакція, енергосистема, автомат, онтологія, евристика, база знань, інкорпорація

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-36-42

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Визначальними якостями функціонування СППР є складність і об'ємність об'єкту управління – енергосистеми гірничо-металургійного комплексу, зв'язок із засобами ОІУК автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ), необхідність роботи як в режимі реального часу, так і інтерактивно – в якості порадики оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП), робота з різними формами подання знань, поєднання обчислювальних завдань і логічного висновку та інші.

Перераховані якості формують ряд особливих вимог як до самої інтелектуальної системи, так і до методології її проектування. Приведемо базові з таких вимог: одночасна робота з декларативними і процедурними формами подання знань, однакова робота системи в режимі логічного висновку в базі знань (БЗ) і обробки бази даних (БД), забезпечення практичного апаратного інтерфейсу з компонентами енергооб'єктів і АСДУ, реалізація призначеного для користувача візуального інтерфейсу з ОДП, ефективна трансляція у внутрішні коди системи і інтерпретація управляючих метаправил, реалізація програмного механізму логічного висновку у вигляді транзакцій метаправил.

Сформульовані вимоги обумовлюють необхідність нового ексклюзивного підходу до подання і візуалізації структурних і функціональних моделей програмного комплексу СППР. Засоби візуалізації моделі функціонування СППР повинні забезпечувати алгоритмічну точність і простоту моделі, однозначну інтерпретацію графічних примітивів, відображення станів програми і бази знань, моделювання подій і реактивність інтелектуальної системи, використання мінімального формального символічного алфавіту. При цьому, модель повинна вирішувати наступні головні завдання: забезпечення однакового представлення алгоритмів функціонування СППР і алгоритмів трансляції і обробки бази знань на усіх рівнях, репрезентації дієвого вико-

нання програми залежно від параметрів (сигналів) станів зовнішнього оточення інтелектуальної системи – комплексу АСДУ, ОДП і енергооб'єктів ЕЕС.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведемо короткий аналіз існуючих функціональних моделей візуалізації алгоритмів (сценаріїв, поведінки), які найбільш адекватно реалізують поставлені завдання [1, 2]. Кожен з формалізмів має сильні і слабкі сторони, а також переважну область застосування. Більш важливим є аналіз їх обмежень.

Спочатку необхідно відзначити текстуальні форми запису алгоритмів. Ця форма є найбільш природною і найменш формалізованою для людини. Вона може застосовуватися на самому початковому етапі концептуального опису завдання для обговорення в колективі розробників. Однак незначне ускладнення алгоритму або деталіровка завдання призводять до різкого розростання обсягу опису, заплутування викладу, зникнення наочності і появи суперечливості.

Різновидом текстуальної записи алгоритму є псевдокод. Цей підхід корисний, коли необхідно абстрагуватися від конкретного середовища і мови програмування, представляючи, однак, якусь структуру програми. Цей підхід корисний для ілюстрації невеликих і ізольованих фрагментів алгоритмів. В іншому він несе обмеження текстуальної форми запису.

У деяких випадках буває корисним безпосередній запис алгоритму в рамках деякої мови програмування. Цей підхід використовується, коли алгоритм вже відомий і потрібно відпрацювання деяких нюансів, приписок, модифікацій. Крім того, даний підхід можна застосувати, в основному, в колективах розробників, вже знайомих з попередніми варіантами вихідного коду. Інакше, вивчення чужого вихідного коду вимагатиме занадто багато часу.

Кращим і найбільш масовим є формалізм блок-схем, як найбільш поширений образ відображення алгоритмів, який досить підходить для безлічі добре формалізованих задач [1, 2]. Формальна мова схем алгоритмів стандартизована і добре випробувана на практиці. У більшості випадків, спираючись на талант розробника, вдається звести задачу до візуалізації блок-схемою алгоритму. Однак, у міру зростання складності та ієрархічності завдання, схема алгоритму втрачає логіку в кількості зв'язків і переходів. Можна навіть зазначити, що «покрокова блок-схема є прикритим анахронізмом, придатним тільки для новачків в алгоритмічному мисленні» [3]. У багатьох випадках схеми алгоритмів рисуються навіть після того, як програма закінчена [1].

Діаграми Дейкстри визначають деякий альтернативний підхід до візуального моделювання алгоритмів [4, 5]. Дейкстра ввів принципи структуризації блок-схем: принцип обмеження топології, принцип вертикальної орієнтації входів і виходів, принцип єдиної вертикалі, принцип нанизування типових блок-схем на єдину вертикаль [6]. Підхід Дейкстри випередив час, він мінімізував типізацію блоків схеми і способи їх з'єднання, але сьогодні, в основному, також несе недоліки сучасних блок-схем алгоритмів.

З метою «ущільнення» схем алгоритмів і ліквідації їх заплутаності запропонований метод візуалізації Нессі-Шнейдермана [7]. Він забезпечує абсолютне дотримання принципів структурного програмування, покрокову деталізацію завдання при відсутності зв'язуючих стрілок. До недоліків схем Нессі-Шнейдермана слід віднести великий обсяг загальної схеми, яка важко сприймається. При відсутності зв'язуючих стрілок збільшується кількість меж блоків. Зменшення розмірів схеми зменшує внутрішні відділи і знижує їх читабельність.

Розглянуті формальні системи подання алгоритмів застосовуються і розвиваються, проте, вони не забезпечують механізмів відображення взаємодії системи з зовнішнім середовищем. Базовим формальним підходом для подання реактивних систем є комплекс різних варіантів автоматних моделей. Головним достоїнством таких моделей є врахування безлічі станів системи і впливу операцій на логіку переходів в наступні стани. Графічним поданням автоматної моделі є добре відомий граф переходів. Формалізми автоматів виражаються моделями автоматів Мілі і Мура [2, 8]. Аналіз робіт дозволяє відзначити наступні обмеження автоматних моделей при формалізації алгоритмів – відсутність ієрархії станів, узагальнення переходів, засобів відображення відновлення нормальної роботи після переривання, подання семантики взаємодії кінцевих автоматів [2].

В якості деяких рішень зазначених проблем використовуються SWITCH-технологія проектування [9], а також діаграми станів Д. Харела [10, 11].

В основі SWITCH-технології лежить можливість подання програми як ієрархії взаємодіючих автоматів. Модель дозволяє реєструвати зовнішні події. До недоліків моделі можна віднес-