

**АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ТА ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ  
ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ**

**М.В. Мислович**, докт.техн.наук, **Р.М. Сисак**, канд.техн.наук, **Л.Б. Остапчук**, канд.техн.наук, **Ю.І. Гижко**, канд.техн. наук, **С.М. Герцик**

**Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.**

**E-mail:** [mysl@ied.org.ua](mailto:mysl@ied.org.ua) ; [rsysak@ied.org.ua](mailto:rsysak@ied.org.ua) ; [vikaost@ied.org.ua](mailto:vikaost@ied.org.ua) ; [gyzhko@ukr.net](mailto:gyzhko@ukr.net)

*Розглядаються алгоритми функціонування та керуюче програмне забезпечення багаторівневої системи дистанційного моніторингу та технічного діагностування електротехнічного обладнання об'єктів електроенергетики. Система забезпечує адаптацію до структури конкретного об'єкта, глибоке діагностування вузлів його обладнання, має низьку вартість і високу ефективність, що досягається завдяки розподілу обчислювальних ресурсів та діагностичних функцій між модулями діагностичної системи, які працюють на різних рівнях ієрархії, а також за рахунок організації двостороннього обміну діагностичною інформацією між цими модулями з урахуванням критичності дефектів. Бібл. 3.*

**Ключові слова:** електротехнічне обладнання, технічна діагностика, багаторівнева система, програмне забезпечення.

**Вступ.** Завдяки швидкому розвитку нових інформаційних технологій та електронних пристроїв стало можливим реалізувати на новому технологічному рівні засоби моніторингу, контролю та діагностування, які дозволяють отримувати діагностичну інформацію з більшою точністю і надійністю, ніж раніше, і при цьому не вимагають безпосередньої участі оператора. Тому протягом кількох останніх років на об'єктах електроенергетики розвинених країн значно зросла кількість вимірювальних засобів, у тому числі побудованих на основі бездротових технологій зв'язку [3]. При поєднанні у єдину інформаційно-вимірювальну систему вони дають можливість здійснювати дистанційний моніторинг, контроль і діагностування різноманітного устаткування, яке експлуатується на цих об'єктах – енергоблоках електростанцій, електричних підстанціях тощо. Збільшення кількості вимірювальних засобів підвищує достовірність інформації, отриманої щодо об'єктів моніторингу і діагностування, але разом з тим суттєво збільшує обсяги даних, які необхідно передавати, накопичувати і аналізувати [3]. Це дає можливість досягти вищої достовірності визначення фактичного стану обладнання, проте призводить до значного ускладнення самих діагностичних систем, зростання вимог до потужності обчислювальних засобів та каналів передачі, що суттєво підвищує вартість систем діагностування, побудованих на основі традиційної централізованої структури. Враховуючи сказане, актуальним є завдання розробки нових систем моніторингу і діагностування об'єктів електроенергетики, які мають удосконалену багаторівневу структуру, відповідних алгоритмів функціонування та програмного забезпечення (ПЗ).

У роботі [1] було проаналізовано ієрархію найважливішого електротехнічного обладнання типової теплоелектростанції, що дало можливість розробити узагальнену структуру багаторівневої інтелектуальної системи, призначеної для моніторингу стану та діагностування обладнання електростанції. При розробці системи діагностування конкретного об'єкта в рамках електростанції (наприклад, енергоблока) згідно з [1] створюється окрема підсистема (так звана місцева система діагностування – МСД), структура якої відповідає фактичній ієрархії обладнання діагностованого об'єкта.

Метою статті є уточнення алгоритмів функціонування окремих модулів МСД, а також розробка керуючого ПЗ, призначеного для отримання та аналізу вимірювальних даних і організації ефективного обміну цими даними між модулями системи.

**Багаторівнева структура та алгоритми функціонування діагностичної системи.** МСД складається з одного центрального модуля, декількох модулів обробки даних та сенсорів. Сенсори встановлюються на вузлі діагностованого електротехнічного обладнання, де можуть виникати критичні дефекти, і призначені для вимірювання діагностичних сигналів безпосередньо з цих вузлів. Сенсори, встановлені на одному й тому самому вузлі, приєднуються до одного спільного модуля обробки, який забезпечує збір вимірювальної інформації відповідно до обраного алгоритму діагностування, а також попередню статистичну обробку результатів вимірювань. При цьому з'єднання можуть бути як кабельними, так і бездротовими. Кожен вузол діагностованого обладнання оснащується окремим модулем обробки. У свою чергу, всі модулі обробки підпорядковуються центральному модулю, в результаті чого утворюється трирівнева ієрархічна структура діагностичної системи.

Враховуючи значні обсяги даних, що обробляються системою, необхідно оптимізувати взаємодію її окремих модулів таким чином, щоб знизити вимоги до пропускну здатності каналів зв'язку між ними та до апаратного забезпечення модулів. Це завдання було вирішено завдяки розподіленню обчислювальних потужностей та класифікації дефектів за рівнем критичності [1].

Головним завданням обчислювальних модулів системи є визначення фактичного технічного стану кожного із підпорядкованих структурних елементів на основі вимірювання та аналізу діагностичних сигналів. Ал-

горитм функціонування цих модулів у загальних рисах можна описати наступним чином. Кожний модуль періодично отримує певний обсяг вимірювальних даних від приєднаних до нього сенсорів і здійснює їхній попередній аналіз. Коли відхилення від нормального стану не виявлено, модуль не передає дані на верхній рівень. Якщо було виявлено незначне відхилення, він видає попереджувальний сигнал. У разі, якщо виявлене відхилення є значним, модуль передає вимірювальні дані на верхній рівень ієрархії для більш повного і глибокого аналізу. Нарешті, якщо відхилення визнано критичним, модуль видає сигнал тривоги для негайного реагування. Розглянемо програмне забезпечення, яке було розроблено авторами для реалізації цього алгоритму.

**Особливості розробленого програмного забезпечення.** Перш за все слід зазначити, що в залежності від рівня, який займають модулі у ієрархії системи, вони містять обчислювальні ядра на основі мікроконтролерів, одноплатних та промислових комп'ютерів, що працюють під керуванням спеціального ПЗ, яке можна умовно розділити на 3 класи: системне ПЗ, прикладне ПЗ, та вбудоване ПЗ. Системне ПЗ – це операційна система, а також набір допоміжних програм, які в сукупності створюють робоче середовище та надають основні сервіси для прикладного ПЗ. У розробленій системі діагностування використано операційні системи Microsoft Windows та Linux.

Вбудоване ПЗ працює в мікроконтролерах, які входять до складу цифрових сенсорів. Функції такого ПЗ обмежені низькою обчислювальною потужністю апаратного забезпечення і зводяться, в основному, до керування процесом аналого-цифрового перетворення вимірюваних діагностичних процесів та передачі даних у модулі обробки, до яких вони приєднані. Особливістю вбудованого ПЗ є те, що воно працює без операційної системи, а тому самостійно реалізовує протоколи вводу-виводу, необхідні для комунікації з іншими модулями.

Прикладне ПЗ виконує функції, специфічні для розробленої системи діагностування. Ключовими завданнями прикладної частини ПЗ є збір, аналіз та накопичення вимірювальних даних. Особливістю прикладного ПЗ даної системи є те, що воно призначене для роботи на різнорідних програмно-апаратних платформах: промислових комп'ютерах, ноутбуках, малопотужних одноплатних комп'ютерах. Виходячи з цього, при його проектуванні необхідно враховувати такі вимоги і обмеження: інтерфейси для обміну даними мають бути уніфікованими і повинні піддаватися простій реалізації на будь-якій з платформ, які входять у систему; стандарти зберігання даних повинні бути спільними для різних платформ; компоненти ПЗ, які повинні виконуватися на будь-якій з платформ, що входять у систему, повинні розроблятися з урахуванням вимог сумісності.

Прикладне ПЗ системи моніторингу стану та технічного діагностування можна розділити на дві категорії: керуюче ПЗ, призначене для реалізації алгоритмів діагностування, включаючи взаємодію окремих модулів між собою; діагностичне ПЗ, що здійснює статистичну обробку вимірюваних даних, прийняття діагностичних рішень, оцінювання залишкового ресурсу, планування відмов тощо.

Для виконання алгоритму діагностування була написана програма DiagMon (діагностичний монітор). Розглянемо її роботу. Взаємодію між модулями обробки та цифровими сенсорами реалізовано по класичній архітектурі «клієнт-сервер», причому сенсори виступають як сервери. Вони більшість часу перебувають у режимі очікування зі зниженим енергоспоживанням, що дає можливість значно подовжити час їхньої роботи до заміни чи перезарядження батареї. Для опитування приєднаних сенсорів програма DiagMon ініціює початок зв'язку з вибраним сенсором. При цьому відповідний сенсор переходить у режим вимірювання і починає передачу даних із заданою частотою. Після того, як модуль обробки отримає необхідну кількість значень вимірюваного сигналу, він розриває зв'язок із сенсором, який одразу ж припиняє вимірювання і знову переходить у режим очікування. Модуль обробки запускає наявне діагностичне ПЗ для оцінювання фактичного стану контрольованого вузла і записує результати обробки у файл. Цей процес повторюється циклічно, поки модуль обробки не опитає всі приєднані до нього сенсори. Якщо аналіз отриманих даних не виявив відхилень фактичного стану контрольованого вузла від норми, програма переходить у режим очікування на заданий інтервал часу, після якого весь процес повторюється знову. Якщо ж результати роботи діагностичного ПЗ свідчать, що стан контрольованого вузла не можна вважати задовільним, програма створює спеціальний файл-сигналізатор і записує у нього повідомлення встановленого формату, яке свідчить про критичний або аварійний стан об'єкта.

Для обміну даними між модулями обробки та центральним модулем системи, з'єднаними між собою за допомогою мережі стандарту Ethernet, авторами використано технологію веб-служб (Web Service – WS) через її гнучкість і простоту реалізації на різних платформах [2]. Було розроблено спеціальний процес-сигналізатор Alarmer, що працює на модулі обробки і періодично сканує задану дискову директорію на предмет наявності файлів-сигналізаторів. Коли Alarmer знаходить такий файл, він надсилає запит на спеціальну веб-службу, яка запущена на центральному модулі, повідомляючи таким чином про виявлення дефекту контрольованого вузла. Такий підхід зменшує обсяги даних, що передаються між модулями системи, і навантаження на обчислювальне ядро центрального модуля, зберігаючи при цьому можливість оперативного реагувати при виявленні критичних дефектів. Завдяки цьому можна збільшити кількість діагностичних параметрів, що одночасно вимірюються системою, без необхідності суттєвого збільшення обчислювальної потужності її компонентів.

Центральний модуль також має можливість запитувати інформацію з модулів обробки. Для цього розроблено спеціальну веб-службу DiagMonWS, яка працює на кожному модулі обробки. У відповідь на запит з боку центрального модуля ця служба формує і надсилає повідомлення про фактичний стан контрольованого об'єкта і час останнього опитування, а при необхідності також пакет вимірювальних даних, що дає можливість центральному модулю провести більш глибокий аналіз даних.

Розроблене ПЗ забезпечує функціонування системи у повністю автоматичному режимі без необхідності

залучення оператора. Додатково було розроблено інтерфейс користувача, який дозволяє оператору в будь-який момент часу здійснити доступ до системи у віддаленому режимі та отримати інформацію як про фактичний стан діагностованого обладнання, так і про стан модулів та сенсорів системи діагностування.

**Висновки.** Виходячи з особливостей функціонування багаторівневої системи дистанційного моніторингу та технічного діагностування фактичного стану обладнання об'єктів електроенергетики, було розроблено алгоритми та створено спеціальне керуюче програмне забезпечення, яке реалізує оптимальне використання наявних обчислювальних ресурсів та оперативний обмін даними між модулями цієї системи. Розроблене програмне забезпечення дає можливість в автоматичному режимі вимірювати, передавати та здійснювати аналіз діагностичної інформації з метою виявлення, локалізації та класифікації критичності дефектів з урахуванням ієрархічної структури об'єктів діагностування.

1. Мислович М.В., Сисак Р.М. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів // Техн. електродинаміка. – 2015. – №1. – С. 78–85.

2. Прокофьева И.В., Шибанов С.В., Шажков Б.Д. Анализ применения современных технологий интеграции данных в разнородных распределенных информационных системах / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2009. – Т. 1. – <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-sovremennyh-tehnologiy-integratsii-dannyh-v-raznorodnyh-raspredelennyh-informatsionnyh-sistemah> (дата звернення: 20.01.16).

3. Hitchin P. Big data unlocks better efficiency // Power Engineering International. – 2014. – Vol. 22. – No 10. – Pp. 6–10.

УДК 681.518.5:621.31

## АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

М.В. Мыслович, докт. техн. наук, Р.М. Сысак, канд. техн. наук, Л.Б. Остапчук, канд. техн. наук, Ю.И. Гыжко, канд. техн. наук, С.Н. Герцик

Институт электродинамики НАН Украины, пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

E-mail: [mysl@ied.org.ua](mailto:mysl@ied.org.ua); [rsysak@ied.org.ua](mailto:rsysak@ied.org.ua); [vikaost@ied.org.ua](mailto:vikaost@ied.org.ua); [gyzhko@ukr.net](mailto:gyzhko@ukr.net)

*Рассматриваются алгоритмы функционирования и управляющее программное обеспечение многоуровневой системы удаленного мониторинга и технического диагностирования электротехнического оборудования объектов электроэнергетики. Система обеспечивает адаптацию к структуре конкретного объекта, глубокое диагностирование узлов его оборудования, характеризуется невысокой стоимостью и высокой эффективностью, что достигается благодаря распределению вычислительных ресурсов и диагностических функций между модулями диагностической системы, работающими на различных уровнях иерархии, а также за счет организации двустороннего обмена диагностической информацией между этими модулями с учетом критичности дефектов.* Библ. 3.

**Ключевые слова:** электротехническое оборудование, техническая диагностика, многоуровневая система, программное обеспечение.

## ALGORITHMS OF OPERATION AND SOFTWARE OF MULTILEVEL SYSTEM FOR MONITORING AND TECHNICAL DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL POWER FACILITIES EQUIPMENT

M.V. Myslovych, R.M. Sysak, L.B. Ostapchuk, Yu.I. Gyzhko, S.M. Hertsyk

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine, Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

E-mail: [mysl@ied.org.ua](mailto:mysl@ied.org.ua); [rsysak@ied.org.ua](mailto:rsysak@ied.org.ua); [vikaost@ied.org.ua](mailto:vikaost@ied.org.ua); [gyzhko@ukr.net](mailto:gyzhko@ukr.net)

*Algorithms and software of multilevel system for remote monitoring and diagnostics of electrical power facilities equipment are discussed. The system enables adaptation to the structure of a particular object, as well as deep diagnosing of such equipment, and has low cost and high efficiency, which is achieved by distributing of computing resources and diagnostic functions between modules of the diagnostic systems that operate at different levels of the hierarchy, as well as by implementation of bidirectional exchange of diagnostic information between those modules taking into account the severity of defects.* References 3.

**Key words:** power electrical equipment, technical diagnostics, multilevel system, software

1. Myslovych M.V., Sysak R.M. On some peculiarities of design of intelligent multi-level systems for technical diagnostics of electric power facilities // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2015. – No 1. – Pp. 78–85. (Ukr)

2. Prokofieva I.V., Shibanov S.V., Shazhkov B.D. Analysis of the application of modern technologies of data integration in heterogeneous distributed information systems // Proc. of the International Symposium «Safety and quality», 2009. – Vol. 1. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-sovremennyh-tehnologiy-integratsii-dannyh-v-raznorodnyh-raspredelennyh-informatsionnyh-sistemah/> (accessed 27.01.2016) (Rus)

3. Hitchin P. Big data unlocks better efficiency // Power Engineering International. – 2014. – Vol. 22. – No 10. – Pp. 6–10.

Надійшла 07.02.2016

Остаточний варіант 10.05.2016