

Н.Б. Марченко, Київ  
Т.Л. Щербак, Київ

## **БАГАТОРІВНЕВІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ТА ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Abstract.** The system of diagnostics of complex technical objects considering modern information technologies is considered. The substantiation of the task of functioning of such complex technical objects is presented. On the example of the diagnosis system, the HPS gives a more specific argumentation.

### **Актуальність**

Забезпечення експлуатаційної надійності, довговічності і безпеки складних технічних об'єктів (СТО) – це комплекс завдань, ефективне вирішення яких базується на результатах моніторингу, включаючи вимірювання і контроль, забезпечення штатних умов їх експлуатації, а також попередження несправностей, пошкоджень та відмов їх елементів, модулів та механізмів. Це потребує створення сучасних багаторівневих систем моніторингу стану та діагностування. У даній роботі на основі методології системного аналізу результатів впровадження сучасних інформаційних технологій (ІТ), публікацій [1, 2], будуть розглянуті наступні завдання.

### **Постановка завдання**

Сформулювати основні завдання при створенні багаторівневих систем моніторингу стану та діагностування складних технічних об'єктів та навести конкретний приклад.

### **Основні результати**

Методологія системного аналізу, теорії систем дає можливість досліджувати СТО як ієрархію поєднання складових різного рівня при її побудові. Така декомпозиція структури СТО обумовлює подальший розвиток інформаційних систем моніторингу стану та діагностування таких об'єктів. Такі системи, як апаратно-програмні комплекси є основним і єдиним інструментарієм, ресурси якого забезпечують довготривалу і надійну експлуатацію СТО.

Сформулюємо основні завдання функціонування багаторівневої системи моніторингу стану та діагностування, базуючись на наступних публікаціях [1 – 5].

Багаторівневі систем моніторингу стану та діагностування СТО вирішують наступні завдання:

– оцінювання характеристик та параметрів діагностичних ознак функціонування елементів, модулів, механізмів, підсистем різних рівнів структури СТО в часі і просторі;

– узагальнення отриманої діагностичної інформації, виділення із значного об'єму даних інформації, критичної для СТО в цілому та передачу сформованої критичної інформації в пункти управління об'єктом;

– децентралізація апаратно-обчислювальних ресурсів системи з метою забезпечення необхідного темпу (частоти) проведення процесів вимірювання та опрацювання даних діагностичних сигналів окремих елементів, модулів, механізмів та підсистем;

– об'єднання діагностичної інформації по ієрархії структури СТО;

– класифікації діагностичної інформації за ступенем критичності для перерозподілу інформаційними потоками між ієрархічними рівнями системи;

– обґрунтування рішень на основі отриманих результатів роботи системи, необхідності ремонту, модернізації або заміни окремих елементів, модулів та підсистем СТО.

Разом з вирішенням вказаних задач необхідно забезпечити:

1. Децентралізацію обчислювальних ресурсів з метою забезпечення необхідної частоти проведення вимірювання і опрацювань діагностичних сигналів, отриманих на конкретних пристроях.

2. Об'єднання діагностичної інформації по ієрархічному принципу.

3. Класифікацію діагностичної інформації за ступенем критичності для оптимізації інформаційних потоків між ієрархічними рівнями системи.

4. Обґрунтування необхідності та шляхи модернізації існуючих систем контролю.

5. Обґрунтування та розробка багаторівневої системи моніторингу стану та діагностування складних технічних об'єктів для модернізації та розширення функціональних можливостей діагностики стану окремих пристроїв систем в реальному масштабі часу, забезпечення узагальнення такої діагностичної інформації, виділення з великого масиву даних тієї інформації, що є критичною для системи в цілому, та передачу її на вищий рівень ієрархії.

6. Впровадження такої системи дасть можливість забезпечити точне та своєчасне виявлення дефектів усіх критичних пристроїв електроенергетичних об'єктів за рахунок постійного глибокого діагностування їх стану; своєчасне інформування обслуговуючого персоналу про місце та вид дефекту; передачу узагальненої інформації про фактичний стан об'єкту діагностування на вищий рівень ієрархії для швидкого реагування.

В кінцевому результаті це дасть можливість підвищити надійність роботи СТО в цілому [3, 4]. Для конкретної постановки задачі розглянемо функціонування такого складного технічного об'єкту як ТЕС.

В певній мірі інтегрально при вирішенні наведених вище завдань багаторівневої системи моніторингу стану та діагностування формується і

реалізується наступна схематична ілюстрація взаємозв'язку інформаційно-діагностичних ознак функціонування СТО (рис. 1)

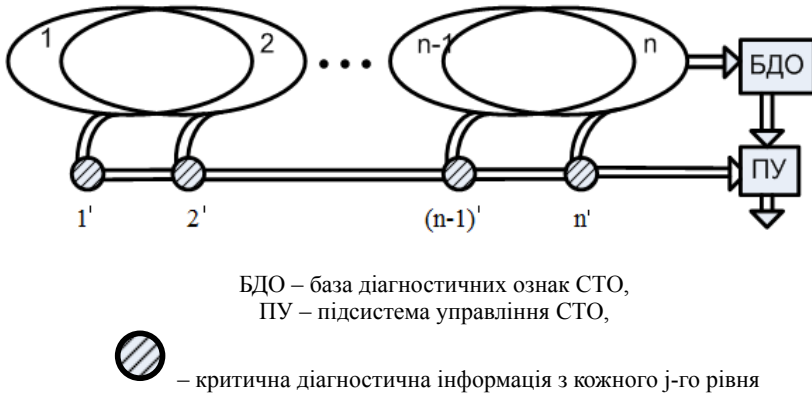


Рис. 1. Схематична ілюстрація взаємозв'язку інформаційного забезпечення множини діагностичних ознак ієрархії СТО з виділенням критичної діагностичної інформації, де 1, 2, ..., n – множина діагностичних ознак відповідних рівнів ієрархії СТО, 1', 2', ..., n' – критична діагностична інформація вказаних вище рівнів ієрархії СТО

З метою конкретизації виконання вказаних вище завдань, які вирішуються багаторівневою системою моніторингу стану та діагностування СТО, розглянемо ТЕС, як складний енергетичний об'єкт, який є джерелом як електричної так і теплової енергії [5].

До основних характеристик параметрів ТЕС, що діагностуються, відносять:

- загальні параметри – коефіцієнти економічності, пов'язані з факторами технологічного процесу;
- характеристики властивостей металоконструкцій – твердість, повзучість, тріщиностійкість, наявність раковин, утворення окалини поверхонь нагріву;
- геометричні параметри конструкцій – діаметр і товщина труб, відносні зміщення окремих вузлів;
- параметри теплофізичних процесів – температура зон перегрівів поверхонь нагріву;
- параметри хімічних процесів – стан води охолоджуючих середовищ;
- параметри шумових процесів – поява сигналів акустичної емісії, акустичних сигналів витоків, шумів закипаючої рідини, шумів в трубопроводах та ін.;
- параметри вібрації – вібрацій підшипників кочення електроенергетичних машин.

Сучасні ІТ дають можливість при реалізації багаторівневої системи

моніторингу стану та діагностування для ТЕС вирішити такі наступні завдання:

1. Активна двонапрявлена схема взаємодії в реальному масштабі часу та інформаційного обміну між всіма елементами (учасниками мережі) – від виробників теплової енергії до кінцевих споживачів.

2. Охоплення всього технологічного ланцюга теплоенергетичної системи: виробників теплової енергії, розподільчих мереж і кінцевих споживачів.

3. Для забезпечення інформаційного обміну даними в сучасних ІТ передбачено використання цифрових комунікаційних мереж та інтерфейсів обміну даними.

4. Застосування ІТ дає можливість ефективно захищатися і самовідновлюватися від великих збоїв, природних катаклізмів, зовнішніх загроз.

5. Сучасні ІТ сприяють оптимальній експлуатації інфраструктури теплоенергетичної системи.

6. З точки зору загальної економіки сучасні ІТ сприяють появі споживачів і послуг. ІТ працює через систему спеціальних «розумних» лічильників, встановлених на підприємствах і в житлових приміщеннях. Вони інформують про рівень споживання теплової енергії, що дозволяє коригувати використання теплотехнічне обладнання в часі і розподіляти теплову енергію в залежності від потреб.

Використаємо результати для наведення конкретного прикладу. На рис. 2 показано ієрархію електротехнічного обладнання традиційної електростанції (ТЕС, АЕС, ГЕС), найбільш важливого з точки зору надійності всього об'єкта, яка була прийнята в рамках цієї роботи [6, 7, 8].

На першому рівні розташовані елементи конструкції основних вузлів обладнання електростанції. Саме цей рівень і визначає, які дефекти можливі в об'єкті, що розглядається. Глибоке вивчення елементів, розташованих на першому рівні ієрархії, дає всю необхідну інформацію про види, причини виникнення, та прояви дефектів. У результаті такого аналізу будують діагностичні моделі, вибирають діагностичні сигнали та параметри.

Другий рівень – це вузли обладнання, які являють собою конструктивно єдине ціле. Сюди можна віднести обмотки ротора та статора обертових машин, магнітопроводи, підшипникові вузли, корпус, станину, фундамент, систему охолодження.

Третій рівень – електротехнічне обладнання електростанції: генератори, двигуни власних потреб, трансформатори, вимикачі, роз'єднувачі, ізолятори, насоси тощо.

Четвертий рівень ієрархії – це рівень електростанції в цілому [1, 2].

Дефекти технічних об'єктів можна класифікувати за різними ознаками [1, 6, 7]. З точки зору оптимізації складності системи діагностування доцільно розглянути розподіл усіх можливих у даному об'єкті

діагностування дефектів на три класи: катастрофічні, некатастрофічні, часткові.

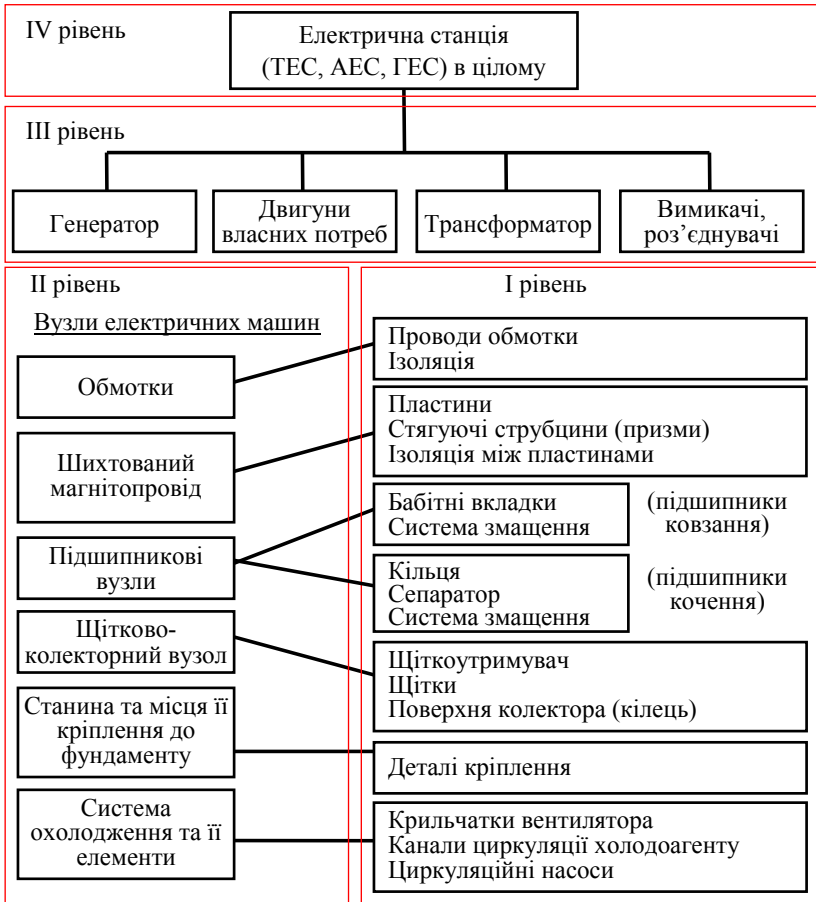


Рис. 2. Ієрархія електротехнічного обладнання електростанції

Катастрофічні дефекти при їх появі в технічному об'єкті викликають повне припинення виконання його функцій.

Некатастрофічні дефекти можуть призводити до погіршення окремих характеристик роботи об'єкта, але при цьому він продовжує виконувати основні функції.

Часткові дефекти порушують окремі функції об'єкта діагностування, при цьому він продовжує виконувати інші функції в повному об'ємі. Виникає важливе питання, що потребує вирішення при розробці системи

діагностування: які елементи об'єкта, що діагностується, є критичними для його правильного функціонування, а які – ні.

Очевидно, що будь-яка система діагностування повинна обов'язково виявляти катастрофічні дефекти, оскільки вони повністю порушують працездатність об'єкта діагностування. Разом з тим, деякі некатастрофічні чи часткові дефекти можна залишити поза увагою системи. Такий підхід до розробки системи дає можливість спростити її структуру, зменшити обсяги інформації, що обробляються в системі та передаються між її ієрархічними рівнями. За рахунок цього система може бути здешевлена, а наявні обчислювальні ресурси можна перерозподілити на виконання більш критичних функцій.

Перш за все, система повинна вимірювати діагностичні сигнали, які несуть інформацію про фактичний стан вузлів обладнання, які діагностуються. Отже, до складу системи необхідно включити сенсори тих фізичних величин, які вимірюються. В залежності від об'єкта діагностування до складу системи можуть входити, наприклад, термопари чи терморезистори – для вимірювання температури, акселерометри – для вимірювання параметрів вібрацій, вимірювальні мікрофони – для визначення рівня акустичних шумів, датчики акустичної емісії, різноманітні датчики електричних величин: вимірювальні трансформатори, шунти, лічильники – для визначення електричних параметрів та обліку електроенергії тощо [2, 7].

Практично всі сучасні системи діагностування побудовані на основі цифрових обчислювальних засобів (мікроконтролерів, ПК, промислових робочих станцій). Для системи діагностування, яка повинна відповідати основним принципам сучасних ІТ, ця вимога є обов'язковою, оскільки в рамках інтелектуальних мереж обмін інформацією здійснюється в цифровій формі.

Для подальшого аналізу інформації та прийняття діагностичних рішень виміряні та перетворені в цифрову форму сигнали передаються в обчислювальне ядро системи, яке, в залежності від конкретної потреби, може являти собою як малопотужний мікроконтролер, так і сучасний надпотужний комп'ютер чи кластерну серверну систему.

Кінцевий етап обробки інформації в рамках системи діагностування обладнання електростанції – це відображення результатів користувачам.

В системах діагностування складних об'єктів може вимірюватися значна кількість діагностичних сигналів, що призводить до обміну величезними обсягами інформації між компонентами системи. Для зменшення навантаження на канали зв'язку необхідна децентралізація обчислювальних ресурсів. Зменшення кількості інформації, що передається між компонентами системи, можна досягнути таким чином: виміряна реалізація діагностичного сигналу не передається в обчислювальне ядро системи безпосередньо після оцифрування, а піддається спрощеній обробці в тому модулі, що відповідає за її вимірювання. Далі, в залежності від результатів такого проміжного

аналізу, цей модуль вирішує, яку інформацію надавати в обчислювальне ядро. При цьому можливі наступні варіанти:

- взагалі не передавати ніякої інформації – якщо не було виявлено жодних відхилень від нормального стану;
- подати попереджувальний сигнал – якщо було виявлено несуттєві відхилення;
- надати вимірювану реалізацію в обчислювальне ядро для проведення повного аналізу – якщо виявлені відхилення можна вважати суттєвими;
- подати аварійний сигнал для негайного реагування – якщо виявлено критичні відхилення.

Розглянуті вище функції реалізуються в модулі вимірювання та обробки діагностичних сигналів за допомогою спеціалізованого алгоритмічного забезпечення.

З урахуванням цих вимог було розроблено узагальнену структуру інтелектуальної розподіленої багаторівневої системи моніторингу стану та діагностики електроенергетичного обладнання, яка складається з ряду модулів, кожен з яких призначений для відбору та попередньої обробки вимірювальної інформації про технічний стан певного вузла, та одного центрального модуля, який збирає і узагальнює інформацію від всіх місцевих модулів [7].

Розподіл функцій між цими ієрархічними рівнями пропонується організувати таким чином [1]:

Рівень I – первинний відбір та підготовка діагностичних сигналів (вимірювання діагностичних сигналів, підсилення, аналогова фільтрація, перетворення в цифрову форму);

Рівень II – попередня математична обробка і прийняття проміжних діагностичних рішень (прості алгоритми, реалізація яких не вимагає значних обчислювальних ресурсів, розділення інформації по ступеню критичності дефектів); сигналізація на вищий рівень при наявності дефектів; накопичення незначних обсягів вимірювальної інформації та передача її на вищий рівень (при відповідному запиті);

Рівень III – накопичення, повноцінна обробка і глибокий аналіз даних, швидке реагування на аварійні сигнали з нижчого рівня, прийняття діагностичних рішень по об'єкту діагностики в цілому, архівація статистичних даних, прогнозування надійності та оцінка залишкового ресурсу обладнання, планування ремонтних робіт;

Рівень IV – представлення даних різним користувачам з розмежуванням прав доступу.

## **Висновки**

Основний науковий результат полягає в обґрунтуванні завдань функціонування при створенні багаторівневих систем моніторингу стану та діагностування складних технічних об'єктів. Практична реалізація передбачає децентралізацію обчислювальних ресурсів, об'єднання

діагностичної інформації по ієрархічному принципу, класифікацію діагностичної інформації за ступенем критичності для оптимізації інформаційних потоків між ієрархічними рівнями системи.

1. Мислович М.В., Сисак Р.М. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів / М.В. Мислович, // *Технічна електродинаміка*. – 2015. – № 1. – С. 78–85.
2. Бабак В.П., Бабак С.В., Березун В.С. та ін. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / – Київ, 2015. – 512 с.
3. Гуляев В.А. Вычислительная диагностика. – К.: Наукова думка, 1992. – 232 с.
4. Ильин В.В. Введение в Smart Grid // АВОК. – 2012. – №7. – С. 76 – 86.
5. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособ. для вузов – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
6. Надежность и эффективность в технике: Техническая диагностика. –Том 9. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
7. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Ключев, П.П. Пархоменко и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
8. Бабак В.П., Красильников О.І. Принципи побудови систем моніторингу в теплоенергетиці // *Промышленная теплотехника*. – 2015. – Т.37, №6. – С. 82-92.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3612248>

*Поступила 23.09.2019р.*

УДК 004.942: 621.31

В.О. Гуреев, Київ  
О.В. Сангінова, Київ  
Є.М. Лисенко, Київ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРИСКОРЕННЯ НА ЗБІЖНІСТЬ ІТЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВЕЛИКИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

**Abstract.** The issues of the influence of convergence acceleration parameters of iterative methods for solving systems of nonlinear equations describing steady-state modes and transients of large power systems are investigated. The most widely known methods for calculating nonlinear systems of Newton-Raphson equations and the method for calculating loop currents are used as the base. The results of numerical studies are illustrated by a large number of examples.

### **Актуальність**

У електротехніці відомі два широко використовуваних основних методів розрахунку режимів роботи складних електричних мереж: вузлових потенціалів і контурних струмів [1, 2]. Зазначені методи відрізняються