

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ДІАГНОСТИКА ТА МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ SMART GRID

Свердлова Анастасія Дмитрієвна

М.Н.С.,

аспірант отдела мониторинга и оптимизации теплофизических процессов

Института технической теплофизики НАН Украины

03057, Украина, г. Киев, ул. Марии Капнист (Желябова), 2А

SMART GRID DIAGNOSTICS AND MONITORING OF HEAT POWER EQUIPMENT

Sverdlova Anastasiya Dmitrievna

Research Assistant,

Postgraduate Student in Department of monitoring and optimization of thermal processes

of Institute of Engineering Thermophysics

03057, Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist (Zhelyabova), 2A

Анотація. Розглянуті можливості використання «розумних мереж» в системах моніторингу та діагностики теплоенергетичного обладнання. Проаналізовано причини несправностей і аварійних ситуацій обладнання генерації, транспортування та споживання теплової енергії. Розглянуто основні методи неруйнівного контролю застосовні для діагностики технічних вузлів, і інформативні сигнали, які виникають в процесі експлуатації енергетичного обладнання. Запропоновано структури функціонування теплоенергетичного обладнання для застосування технології Smart Grid в системах моніторингу та діагностування відповідних ієрархічних рівнів. Досліджено основні переваги енергетичних мереж на базі технології Smart Grid перед традиційними мережами.

Abstract. The possibilities of using Smart Grid in monitoring and diagnostics systems for heat power equipment are considered. The causes of malfunctions and emergency situations of equipment for generation, transportation and consumption of thermal energy are analyzed. The basic methods of non-destructive testing applicable for the diagnosis of technical nodes, and informative signals that arise during the operation of power equipment are considered. The structures of the operation of heat power equipment for the application of Smart Grid technology in monitoring and diagnosis systems of the corresponding hierarchical levels are proposed. The main advantages of power grids based on Smart Grid technology over traditional grids are investigated.

Ключевые слова: теплоенергетичне обладнання, Smart Grid, діагностика, Big Data, неруйнівний контроль

Keywords: heat power equipment, Smart Grid, diagnostics, Big Data, nondestructive testing

Вступ. Однією із головних задач теплоенергетики є забезпечення промисловості та комунального господарства тепловою енергією. Споживачами тепла є підприємства, організації, виробничі товари, будівельні площі, квартири [1, 2]. При використанні теплоенергетичних установок і систем обов'язково повинні бути забезпечені надійність, довговічність і безпека як системи в цілому, так і обладнання, що входить до складу системи [3, 4]. Таким чином, актуальною задачею є розроблення система діагностики об'єктів теплоенергетики для раннього виявлення та усунення дефектів, що дозволить підвищити надійність функціонуючого обладнання [5-8].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. У зв'язку зі зменшенням запасів викопного палива, а також з необхідністю підвищення ефективності його використання, моніторинг стану теплоенергетичного обладнання є важливим завданням [9]. В роботі [10] проведено аналіз існуючих методів і способів діагностування систем електропостачання, визначені основні переваги та недоліки існуючих методів. В [5] представлені основні підходи до моніторингу та діагностики технічного стану машинних агрегатів енергетичного обладнання за параметрами вібраційних процесів. Основні типи дефектів, що виникають при експлуатації теплоенергетичного устаткування описані в роботах [11,12]. У роботах [13, 14, 15] наведено засоби контролю і методи підвищення ефективності процесу спалювання палива в котлоагрегатах. Значна увага приділяється методам інфрачервоної діагностики теплоенергетичного обладнання [16, 17, 18]. Актуальним є розробка систем діагностування технічного стану на базі екологічних показників функціонування об'єктів енергетики [19]. Проводяться інтенсивні пошуки різних підходів і методів реалізації інформаційних технологій, в т.ч. використання потужних технічних комплексів включаючи технології Smart Grid [20, 21, 22].

Таким чином, актуальною в теплоенергетиці є проблема розробки систем діагностування, заснованих на концепції «розумних мереж» з можливістю застосування підходів, інструментів і методів обробки структурованих і неструктурованих даних.

Результати дослідження. Технічний стан кожного об'єкта характеризують різні фізичні величини - механічні, гідромеханічні, аеромеханічні, термодинамічні, електричні, електромагнітні, оптичні, акустичні та ін., аналіз яких дозволяє обґрунтувати безліч діагностичних параметрів. Використання методів неруйнівного контролю дозволяє отримати значення діагностичних параметрів для визначення технічного стану обладнання без його демонтажу. Основними критеріями відбору тих чи інших фізичних величин як діагностичних параметрів є використання тих фізичних полів і явищ, які максимально чутливі до зміни стану матеріалу, умов навантаження, експлуатації та ін., що дають можливість визначення фізичних параметрів без руйнування зразків.

На кожному етапі завданням моніторингу об'єктів обов'язковим є визначення теплових навантажень поверхонь нагрівання, дослідження процесів спалювання палива в топках котлоагрегатів, теплових втрат в огорожувальних конструкціях і трубопроводах теплових мереж, тобто тепловий контроль теплогенеруючих установок, агрегатів, теплопроводів, огорожувальних конструкцій.

З іншого боку обслуговування обладнання по фактичному технічному стану базується на застосуванні ряду методів технічної діагностики та розпізнавання технічних станів, які при спільному використанні можуть визначити більшу частину різних дефектів, що виникають в теплоенергетичному обладнанні.

Дослідження основних причин несправностей котельних установок дозволило виявити вузли і їх елементи, де найбільш частіше виникають дефекти: поверхні нагрівання котлів, системи подачі палива, допоміжне обладнання, автоматика і ін. До основних причин відмов котлів можна віднести неполадки пароперегрівача (стельового, ширмового, конвективного), екранних труб (випарні екрани), економайзера, труб, що не обігриваються та інше.

Для вирішення завдань моніторингу і діагностування великих теплоенергетичних систем доцільно використовувати методологію системного підходу. Одним з його основних положень є виділення в теплоенергетичній системі декількох рівнів ієрархії.

Даний підхід до розгляду теплоенергетичної системи дозволяє використовувати технологію Smart Grid для діагностування окремих рівнів. Її суть полягає в моніторингу і прийнятті діагностичних рішень на кожному з окремих ієрархічних рівнів, що дозволяє виявити, локалізувати і усунути дефекти до того, як об'єкти діагностування стануть несправними.

Поява і розвиток концепції Smart Grid є природним етапом еволюції теплоенергетичної системи, обумовленим з одного боку очевидними потребами і проблемами поточного теплоенергоринку, а з іншого боку технологічним прогресом, в першу чергу, в галузі комп'ютерних та інформаційних технологій.

Існуючу теплову енергетичну систему без Smart Grid можна охарактеризувати як пасивну і централізовану, особливо в частині останньої ланки - від розподільних мереж до споживачів. Саме в цій частині ланцюга постачання теплової енергії, технологія Smart Grid найбільш істотно змінює принципи функціонування, пропонуючи нові підходи активної і децентралізованої взаємодії складових системи.

Технологія Smart Grid характеризується кількома інноваційними властивостями, що відповідають новим потребам ринку, серед яких:

- а) активна двонаправлена схема взаємодії в реальному часі та інформаційного обміну між усіма учасниками мережі;
- б) охоплення всього технологічного ланцюжка теплоенергетичної системи: виробники теплової енергії, розподільні мережі і кінцеві споживачі;
- в) використання цифрових комунікаційних мереж і інтерфейсів обміну даними;
- г) Smart Grid «вміє» ефективно захищатися і самовідновлюватися після збоїв, природних катаклізмів, зовнішніх загроз;
- д) технологія Smart Grid сприяє оптимальній експлуатації інфраструктури теплоенергетичної системи і розподілу теплової енергії між споживачами з урахуванням їх пріоритету;
- е) з точки зору загальної економіки Smart Grid сприяє появі нових ринків теплової енергії, гравців і послуг.

На сьогоднішній день структура системи Smart Grid представлена наступними елементами:

- Smart Sensors and Devices - інтелектуальні датчики і пристрої для магістральних і розподільних мереж;
- IT Hardware and Software - інформаційні технології, використовувані в магістральних і розподільних мережах;
- Smart Grid Integrated Communications - інтегровані системи контролю і управління - комплексні рішення в області автоматизації; якийсь аналог відомих систем ERP (Enterprise Resource Planning) в межах підприємства;
- Smart Metering Hardware and Software - інтелектуальні лічильники в формі програмно-апаратних засобів.

Технологічна база Smart Grid складається з наступних ключових сегментів:

- облік енергоресурсів;
- автоматизація розподільних мереж;
- управління і моніторинг стану теплоелектротехнічного обладнання;
- автоматизація магістральних електричних мереж і вузлових підстанцій і регулювання перетоків;
- електричні мережі і установки споживачів;

- нетрадиційні та відновлювані джерела енергії.

Виходячи з ієрархії теплоенергетичного обладнання, що були розглянуті вище, можна побудувати структуру системи технічної діагностики на базі технології Smart Grid. Дана система повинна вимірювати діагностичні сигнали, які несуть інформацію про фактичний стан вузлів діагностованого обладнання.

Таким чином, до складу системи можуть бути включені сенсори тих фізичних величин, які використовуються для діагностування конкретно заданої системи. Залежно від об'єкта діагностування, до складу системи можуть входити:

- термопари або терморезистори - для вимірювання температури;
- акселерометри - для вимірювання параметрів вібрацій;
- вимірювальні мікрофони - для визначення рівня акустичних шумів;
- сенсори електричних величин - для вимірювання параметрів функціонування трансформаторів;
- сенсори тиску - для контролю за розрідженням в топці;
- сенсори газів - для визначення концентрації шкідливих речовин в димовому тракті;
- лічильники теплової енергії - для визначення поточного режиму роботи теплотехнічного обладнання та ін.

Сучасні системи діагностики практично завжди будуються на основі деякого цифрового кошти обчислення (мікроконтролера, персонального комп'ютера, промислової робочої станції і т.д.). Для системи діагностування, яка відповідає основним принципам концепції Smart Grid, ця вимога є обов'язковою, оскільки в рамках «розумних мережах» обмін інформацією здійснюється в цифровій формі. Таким чином, виміряні сигнали повинні перетворюватися в цифрову форму для подальшої обробки в обчислювальному ядрі системи. Кінцевий етап обробки інформації в системі діагностики - це відображення отриманих результатів для користувачів різних рівнів. Для цього в структуру системи включаються відповідні кошти, які, зокрема, повинні забезпечувати авторизацію користувачів системи, розподіл прав доступу, захист інформації.

Список літератури:

1. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / - К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. – 352 с.
2. Artemchuk, V.O., Bilan, T.R., Blinov, I.V. et al. (2017). Theoretical and applied bases of economic, ecological and technological functioning of energy objects. Kyiv, Ukraine: TOV «Nash format»
3. Бабак В.П. Цифровий альфа-індикатор контролю повітряно-паливної суміші на базі цирконієвого кисневого зонду / В.П. Бабак, О.О. Назаренко, А.О. Запорожець // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36. - №2. – С. 70-77.
4. Zaporozhets A. Development of Software for Fuel Combustion Control System Based on Frequency Regulator / A. Zaporozhets // Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference, Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019 / [eds.: V. Ermolayev, F. Mallet, V. Yakovyna, H.C. Mayr, A. Spivakovsky]. – P. 223-230. – (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2387). – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190223.pdf>
5. Zaporozhets A. Approach for Creating Reference Signals for Detecting Defects in Diagnosing of Composite Materials / A. Zaporozhets, V. Eremenko, V. Isaenko, K. Babikova // Advances in Intelligent Systems and Computing IV. - 2020. - vol. 1080. - pp. 154-172. doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_12
6. Eremenko V. Application of Wavelet Transform for Determining Diagnostic Signs / V. Eremenko, A. Zaporozhets, V. Isaenko, K. Babikova // Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference, Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019 / [eds.: V. Ermolayev, F. Mallet, V. Yakovyna, H.C. Mayr, A. Spivakovsky]. – P. 202-214. – (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2387). – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190202.pdf>
7. Запорожець А.О. Система якості горіння повітряно-паливної суміші в котлоагрегатах малої та середньої потужності / В.П. Бабак, А.О. Запорожець // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – №2(33). – С. 106-114.
8. Babak S. Method of Statistical Spline Functions for Solving Problems of Data Approximation and Prediction of Objects State / S. Babak, V. Babak, A. Zaporozhets, A. Sverdlova // [Electronic resource] // Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, April 15-19, 2019 / [eds.: D. Luengo, S. Subbotin, P. Arras, et al]. – P. 810-821. – (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353). – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2353/paper64.pdf>
9. Zaporozhets A. Methods and Hardware for Diagnosing Thermal Power Equipment Based on Smart Grid Technology / Advances in Intelligent Systems and Computing III. – 2019. – vol. 871. – pp. 476-489. doi: 10.1007/978-3-030-01069-0_34
10. Запорожець А. О. Аналіз методів діагностування теплоенергетичних об'єктів / А. О. Запорожець, А. Д. Сverdlova // Наукоємні технології. – 2017. – Т. 35. – №3. – С. 259-265. doi: 10.18372/2310-5461.35.11846

11. Zaporozhets A. Analysis of control system of fuel combustion in boilers with oxygen sensor / A. Zaporozhets // *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. - 2019. - Vol. 64. - №4. - P. 241-248. doi: 10.3311/PPme.12572
12. Запорожець А.О. Підвищення точності вимірювання коефіцієнта надлишку повітря в котлоагрегатах із застосуванням газоаналізаторів електрохімічного типу / В.П. Бабак, А.О. Запорожець, О.О. Редько // *Промышленная теплотехника*. – 2015. – Т. 37. - №1. – С. 82-96. doi: [10.31472/ihe.1.2015.10](https://doi.org/10.31472/ihe.1.2015.10)
13. Babak, V.P. Improving the efficiency of fuel combustion with regard to the uncertainty of measuring oxygen concentration / V.P. Babak, V.M. Mokiychuk, A.A. Zaporozhets, A.A. Redko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 6. – №8 (84). – P. 54-59. doi: 10.15587/1729-4061.2016.85408
14. Запорожець А.О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 2. Алкени, алкіни / А.О. Запорожець // *Наукоємні технології*. – 2014. - Т. 24. – №4. – С. 393-399. Doi: 10.18372/2310-5461.24.7506
15. Бабак В.П. Влияние метеорологических параметров на оптимизацию процесса горения / В.П. Бабак, А.А. Запорожец, А.А. Редько // *Научные известия НТСМ*. – 2015. – № 2. – Т. 165. – С. 361-364.
16. Zaporozhets A. System for Monitoring the Technical State of Heating Networks Based on UAVs / A. Zaporozhets, S. Kovtun, O. Dekusha // *Advances in Intelligent Systems and Computing IV*. - 2020. - vol. 1080. - pp. 935-950. doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_61
17. Zaporozhets A. Methods and means of heat losses monitoring for heat pipelines / V. Babak, A. Zaporozhets, S. Kovtun, R. Serhiienko // *International Journal “NDT Days”*. – 2018. – № 2. – Vol. 1. – P. 213-221.
18. Бабак В. П. Анализ методов диагностирования технического состояния магистральных теплосетей / В. П. Бабак, А. А. Запорожец, С. И. Ковтун, Р. В. Сергиенко / *The Scientific Heritage*. – 2017. – №14. – С. 59-66.
19. Запорожець А. О. Аналіз засобів моніторингу забруднення повітря навколишнього середовища / А. О. Запорожець // *Наукоємні технології*. – 2017 – Т. 35. – №3. – С. 242-252. doi: 10.18372/2310-5461.35.11844
20. Запорожець А. А. Особенности применения технологии Smart Grid в системах мониторинга и диагностирования теплоэнергетических объектов / А. А. Запорожец, А. Д. Свердлова // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2017. – №2. – С. 33-41. doi: 10.15407/tdnk2017.02.05
21. Бабак В. П. Технологія Smart Grid в системах моніторингу об'єктів теплоенергетики / В. П. Бабак, А. О. Запорожець, А. Д. Свердлова // *Промышленная теплотехника*. – 2016. – №6. – Т. 38. – С. 71-81. doi: 10.31472/ihe.6.2016.10
22. Свердлова А.Д. Разработка многоуровневой системы диагностики теплотехнического оборудования / А.Д. Свердлова, А.А. Запорожец, А.А. Редько // *Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус»*. – 2016. – № 13. – Т.1. – С. 89-94.