

УДК 004.896 (075.8) : 621.391.175

DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.33

Б.О. Пальчевський*Луцький національний технічний університет***ИНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ОБЛАДНАННЯ**

В роботі описано особливості оперативного моніторингу технологічних, експлуатаційних і виробничих параметрів технологічного обладнання і використання його результатів для підвищення ефективності технологічного обладнання. До них відноситься збір на локальному рівні обладнання виробничої інформації для реалізації таких функцій як керування робочим процесом, діагностування стану компонент обладнання і визначення стану готовності розхідних матеріалів для створення відповідних рішень з коректування технологічних параметрів, визначення термінів технічного обслуговування обладнання і формування замовлень на розхідні матеріали.

Ключові слова: технологічне устаткування, моніторинг, діагностика, інтелектуальна система керування, технологічні параметри, експлуатаційні параметри, виробничі параметри.

Б.А. Пальчевский**ИНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

В работе описаны некоторые особенности оперативного мониторинга технологических, эксплуатационных и производственных параметров при функционировании оборудования и использование его результатов для повышения эффективности логического оборудования. К ним относится сбор на локальном уровне оборудования производственной информации для реализации таких функций как управление рабочим процессом, диагностирование состояния компонент оборудования и определение состояния готовности расходных материалов и ее анализ для создания соответствующих решений по корректировке технологических параметров, определение сроков технического обслуживания оборудования и формирование заказов на расходные материалы.

Ключевые слова: технологическое оборудование, мониторинг, диагностика, интеллектуальная система управления, технологические параметры, эксплуатационные параметры, производственные параметры.

В. Palchevskyi**INTELLECTUAL MONITORING OF PARAMETERS TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

The paper describes the features of operational monitoring of technological, operational and production parameters of technological equipment and the use of its results to increase efficiency of technological equipment. These include the collection at the local level of production information equipment to implement functions such as workflow management, diagnosing the state of equipment components and determining the state of readiness of consumables and its analysis to create appropriate solutions to adjust technological parameters, determine maintenance dates and form orders for consumables.

Key words: technological equipment, monitoring, diagnostics, intelligent control system, technological parameters, operational parameters, production parameters.

Постановка проблеми. Ускладнення завдань, що виконує сучасне технологічне обладнання, забезпечується модифікацією структури його системи автоматичного керування (САК). Розвинута САК включає, як правило, декілька рівнів і виконує окрім функцій керування робочим процесом, також і функції технічного діагностування і предикативного технічного обслуговування обладнання. Введення системи моніторингу параметрів технологічного обладнання дозволяє здійснювати оцінку технологічного обладнання по його фактичному стану, що забезпечує підвищення ефективності виробництва за рахунок зниження часу простоїв. Для цього САК повинна забезпечити на нижньому рівні моніторинг і збір виробничої інформації, а на вищих рівнях – її аналіз і формування впливів керування. Необхідність побудови структури таких розвинених систем керування і взаємодії їх елементів при функціонуванні, а також принципи використання математичних моделей висувають на перший план необхідність проведення аналітичних досліджень та створення відповідної методики.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Впродовж останніх десятиріч відзначається постійне зростання кількості функцій, що виконуються технологічним обладнанням [4, 5, 9, 11, 14]. При цьому спостерігається зростання питомої ваги інформаційних процесів при функціонуванні технологічного обладнання [12, 13, 15, 19]. На сьогоднішній день найкращих результатів в глобальній міжнародній конкуренції досягли виробники технологічного обладнання

принципи створення якого базуються на ідеях інтелектуального виробництва [3, 6, 17,18]. Аналіз літературних джерел показав, що більшість систем керування в технологічному обладнанні об'єднують функції керування та функції діагностування не в автоматичному режимі а, в основному, на загальному рівні технологічної машини. Оперативний моніторинг стану окремих вузлів технологічного обладнання ще не набув достатнього поширення, не кажучи про об'єднання в процесі моніторингу технологічних, експлуатаційних і виробничих параметрів [1, 7, 8, 16].

Постановка завдань. У сучасній виробничій системі при автоматизації технологічного процесу все частіше виникають завдання збору даних з різних складових елементів машини для їх аналізу відповідно до стандарту OEE (Overall Equipment Effectiveness – загальна ефективність обладнання). В такій виробничій системі необхідно забезпечити окрім функцій керування також і виконання функцій діагностування. Першочерговим завданням постає необхідність вивчення проблемних питань будови структури САК, які забезпечать взаємодію цих функцій (оперативний моніторинг і збір даних з технологічних, експлуатаційних і виробничих параметрів, їх обробку і аналіз, а також вироблення рекомендацій з технічного обслуговування). Така система керування на базі результатів моніторингу здатна виправляти "недоліки" робочого процесу, експлуатаційні відмови механічної частини технологічного обладнання і відслідковувати наявність розхідних матеріалів. Метою роботи є створення принципових підходів побудови методики та алгоритмів роботи САК, які забезпечать єдність керування робочим процесом, діагностику стану механічної частини і аналіз стану матеріального забезпечення робочого процесу при функціонуванні технологічного обладнання.

Викладення основного матеріалу. Для забезпечення в САК технологічного обладнання окрім функцій керування також і виконання функцій діагностування необхідно забезпечити збір даних на його локальному рівні і їх аналіз для формування коректуючих впливів для керування робочим процесом, здійснення технічного обслуговування і вплив на стан матеріального забезпечення протікання робочого процесу. Реалізація цих функцій забезпечується розвинутою системою керування, яка забезпечує вирішення завдань, пов'язаних з моніторингом та прогнозуванням технічного стану механізмів, вузлів та систем технологічних машин різного виду. Розвинена САК бере на себе завдання керування робочим процесом машини та визначення її технологічних, експлуатаційних та виробничих параметрів.

Технологічні параметри - параметри, пов'язані з реалізацією технологічних режимів, наприклад, температура в робочій зоні, тиск, швидкість переміщення механізмів тощо. Завдяки періодичному або безперервному моніторингу технологічних параметрів машини можуть виявлятися відхилення технологічних режимів від заданих для здійснення відповідних коректувань. Експлуатаційні параметри – це параметри, пов'язані з швидкозношуваними деталями машини. Відповідно, засобом визначення експлуатаційних параметрів може бути будь-який датчик, здатний визначати зношення відповідного компонента, причому відсоток або ступінь зносу перетворюються на електронний сигнал, який приймається пристроєм вимірювання та управління. Завдяки періодичному або безперервному моніторингу експлуатаційних параметрів машини можуть виявлятися зламані або зношені деталі або компоненти машини.

Виробничі параметри – це параметри, безпосередньо пов'язані з виробництвом виробів, наприклад кількість спожитих витратних матеріалів, якими може бути кількісно охарактеризований обсяг вироблених виробів. Інша кількісна характеристика вироблених виробів може бути отримана шляхом підрахунку кількості циклів деяких машинних компонентів, наприклад підрахунку кількості ходів циліндра при нанесенні логотипу на вироблену продукцію.

Для виконання вищевказаних функцій керування і діагностування, система керування включає верхній та нижній рівні (рис.1).

Нижній рівень керування, на якому здійснюють безперервне регулювання технологічних параметрів (температури, тиску, тощо) і програмно-логічне керування різними механізмами (робочими механізмами, засувками, клапанами, двигунами, конвеєрами тощо). На цьому рівні виконується збір виробничої інформації за допомогою датчиків. Сьогодні базою нижнього рівня є програмовані логічні контролери (Programmable Logical Controller), які є первинними засобами збору, обробки інформації, регулювання технологічних параметрів, аварійної сигналізації, захисту і блокування механізмів обладнання. Оброблена контролерами інформація передається до комп'ютеризованої системи верхнього рівня.

Верхній рівень керування – це супервізорне керування, яке полягає в ідентифікації ситуації на об'єкті і видачі завдань на нижній рівень. Для цього використовується відповідне промислове програмне забезпечення, наприклад HMI / SCADA, яке реалізує обмін даними з

контролерами, а також їх взаємодію між особою. На цьому рівні приймаються рішення які безпосередньо реалізуються системою керування.

Система верхнього рівня керування забезпечує збір даних і оперативне диспетчерське управління шляхом виконання наступних основних функцій:

- прийом інформації про контрольовані технологічні параметри від контролерів нижніх рівнів і датчиків;
- збереження прийнятої інформації в архівах;
- графічне представлення перебігу технологічного процесу, а також архівної інформації в зручній для сприйняття формі;
- сприйняття команд оператора і передача їх в адрес контролерів нижніх рівнів і виконавчих механізмів;
- реєстрацію подій, пов'язаних з технологічним процесом і діями обслуговуючого персоналу.



Рис.1. Структура технологічної машини з системою автоматичного керування і діагностування

Обробка даних, отриманих на нижньому рівні САК, дозволяє оцінити ресурс вузлів та деталей здійснити прогноз зміни технічного стану об'єкта. Оскільки поломки не завжди відбуваються через однаковий час, бо іноді вузол може продовжувати роботу в штатному режимі набагато довше, а іноді виходить з ладу раніше терміну, то методика інтелектуального обслуговування технологічної машини полягає в пошуку тієї точки часу, в якій показники роботи починають падати. Для оцінки загального стану технологічного обладнання доцільно використати широко відомий показник ефективності обладнання **OEE** (**OEE** - overall equipment effectiveness, загальна ефективність обладнання). Показник ефективності обладнання **OEE** або $E_{заг}$ - інтегрований показник ефективності роботи обладнання дає змогу провести аналіз втрат продуктивності та виявити проблемні місця в обладнанні. Розрахунок показника $E_{заг}$ проводиться за такою формулою:

$$E_{заг} = \eta_{вик} \cdot \eta_T \cdot (1 - \gamma),$$

де: $\eta_{вик}$ - критерій доступності обладнання відомий як коефіцієнт використання,
 η_T - критерій продуктивності, який описує зміну швидкості виробництва,
 γ - відсоток бракованої продукції, відповідно критерій якості складе $(1-\gamma)$.
 Світові стандарти для цих критеріїв нині такі:

- Доступність – 0,9,

- Продуктивність – 0,95.
- Якість – 0,99.
- Загальний показник ефективності обладнання $E_{заг}$ – 0,85.

У міжнародній практиці прийнято, що загальний показник ефективності обладнання $E_{заг}$ вважається при його значенні понад 0,75 – добрим, від 0,65 до 0,75 – задовільним, менше 0,65 – поганим.

Об'єктом моніторингу може бути будь-яке технологічне обладнання або його вузли, оснащені необхідними датчиками контролю параметрів стану. Для об'єкта створюється емпірична (цифрова) модель, яка будується на підставі заданих значень параметрів стану, з яким проводитиметься порівняння поведінки об'єкта для виявлення відхилень його технічного стану. Побудовану модель можна розглядати як багатовимірну поверхню у просторі параметрів стану. Раннє виявлення дефектів і відмов у роботі дозволяє діагностувати проблеми до того, як вони перетворюються в відмови (рис.2). Коли ми бачимо погіршення показників роботи, наприклад за допомогою карт індивідуальних значень Шухарта [2], то розуміємо, що потрібно готуватися до відмови обладнання, і слід проводити ремонт.

Контрольна карта Шухарта має дві статистичні визначальні контрольні межі відносно центральної лінії, які називаються верхньою контрольною межею (ВКМ) і нижньою контрольною межею (НКМ) [2]. В деяких ситуаціях аналізу робочих процесів, коли неможливо отримати більш за одне значення параметру процесу, наприклад значення характеристики ефективності обладнання, доводиться аналізувати і управляти процесом на основі індивідуальних значень. При використанні карт індивідуальних значень контрольні межі розраховують на основі міри варіації, отриманої по ковзних розмахах зазвичай двох послідовних спостережень. Ковзний розмах — це абсолютне значення різниці вимірів в послідовних парах, тобто різниця першого і другого вимірів, потім другого і третього, і так далі. На основі ковзних розмахів обчислюють середній ковзний розмах $R_{сер}$, який використовують для побудови контрольних карт. За всіма даними обчислюють загальне середнє X^0 .

В таблиці 1 наведені результати аналізу загальної ефективності технологічної машини на протязі 10 місяців.

Табл. 1

Результати аналізу загальної ефективності технологічної машини

Найменування показника	Значення									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна ефективність $E_{заг}$	0,93	0,92	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,87
Ковзний розмах $R_{сер}$		0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0

Визначимо середнє значення показника ефективності

$$E_{заг}^{сер} = \frac{1}{10} (0,93 + 0,92 + 0,93 + \dots + 0,87 + 0,87) = 0,907.$$

Середній ковзний розмах складе

$$R_{сер} = \frac{1}{9} (0,2 + 0,4 + 0,3 + \dots + 0,1) = 0,089.$$

Значення НКМ, яке вкаже на наявність наближення відмови, визначиться за формулою

$$НКМ = E_{заг}^{сер} - \frac{3}{d_2} \cdot R_{сер} = 0,907 - \frac{3}{1,128} \cdot 0,089 = 0,67.$$

Значення коефіцієнтів d_2 і $E_2 = 3/d_2$ отримані із таблиць для карт індивідуальних значень Шухарта при кількості вимірювань $n=2$ [2].

Знімаючи показники датчиків у нормальних режимах роботи, система автоматично створює математичну модель поведінки конкретного екземпляра промислового устаткування. У реальному часі здійснюється порівняння поточних показників датчиків зі значеннями, отриманими в результаті розрахунку за підготовленою математичною моделлю. Визначається аномалія-різниця між реальними та передбаченими показаннями.

Припустимо, у нас в машині є помпа, що закачує мастильно-охолоджувальну рідину. На початку експлуатації помпа виконує роботу ідеально, але з часом у неї забивається фільтр, показники падають. В один прекрасний момент показники падають до критичної точки, коли помпа вже не закачує достатню кількість рідини. В такому випадку ми говоримо про вихід обладнання з ладу. Щоб запобігти такому сценарію, класична методологія обслуговування передбачає заміну або технічне обслуговування цієї помпи через певний час – зазвичай це середній показник роботи вузла. Але в одному випадку така заміна може бути передчасною, а в іншому запізнілою – в залежності від умов роботи вузла. Саме тут і допоможе технічна діагностика стану помпи.

Основна складність у створенні системи прогнозного обслуговування - це розробка алгоритмів, здатних правильно визначити зародження дефекту та прогнозувати його подальший розвиток. Алгоритми діагностування та прогнозування можуть розроблятися не тільки для основних робочих вузлів обладнання (зварювальний вузол, шпindel, фільтр, супорт, котел, турбіна, генератор чи трансформатор), але і для допоміжних вузлів (вузли живлення машини, вузли блокування, помпи тощо).

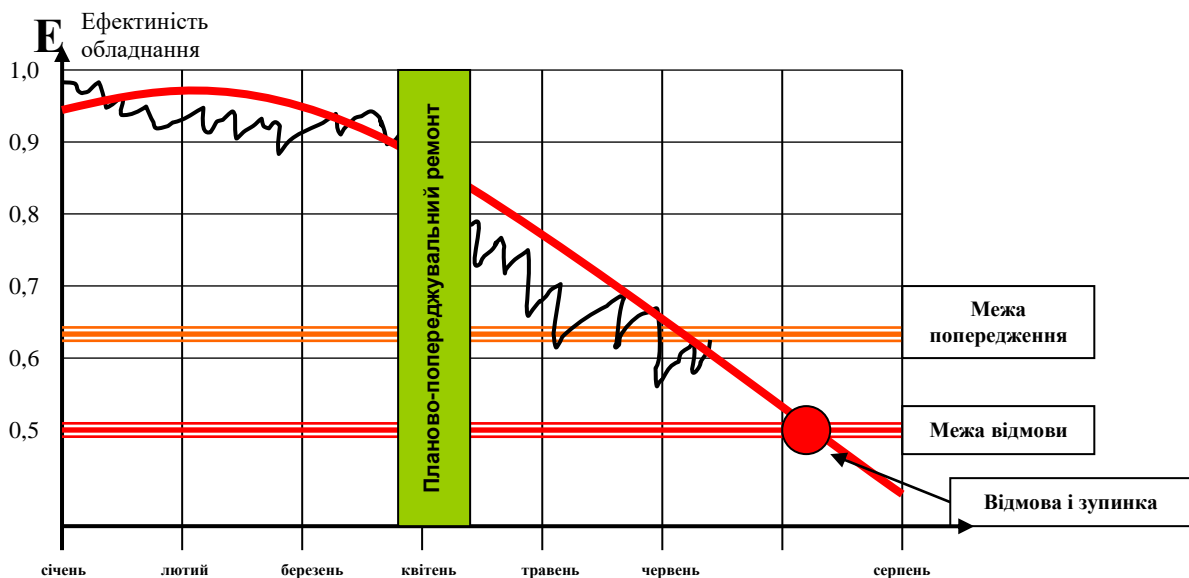


Рис.2. Приклад аналізу загальної ефективності технологічного обладнання

Висновки

1. Основою виконання узгодженої взаємодії функцій автоматичного керування робочим процесом обладнання, діагностування його стану і контролю запасів напівфабрикатів необхідно забезпечити моніторинг технологічних, експлуатаційних і виробничих параметрів, які можна використовувати для контролю запасу напівфабрикатів і виробів, складання графіків для операторів з технічного обслуговування та ремонту машин, коректування технологічних режимів, управління енергопостачанням і заміщення продукту тощо.

2. Отримані значення показників загальної ефективності технологічного обладнання можуть служити основою для прийняття рішення про подальшу його експлуатацію.

3. Показано на прикладі моніторингу і аналізу загальної ефективності технологічного обладнання як в реальному часі здійснюється порівняння поточних показників датчиків зі значеннями, отриманими в результаті розрахунку за підготовленою математичною моделлю і визначається аномалія в функціонуванні технологічного обладнання в вигляді різниці між реальними та передбаченими показаннями.

4. Для ефективного використання технологічного обладнання математична модель може надати інформацію про його працездатність не тільки в процесі експлуатації, а й у певний момент часу в майбутньому, що дозволяє вирішити проблему прогнозування працездатності.

Список використаних джерел

1. Алгоритми функціонування та програмне забезпечення багаторівневої системи моніторингу стану та технічного діагностування обладнання об'єктів електроенергетики / М. В. Мислович, Р. М. Сисак, Л. Б. Остапчук [та ін.] // Техн. електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 86–88.
2. ГОСТ Р 50779.42 – 99 (ИСО 8258 – 91). Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. Введ. 1999-04-15. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1999. – 36 с.
3. Деревянченко А. Г. Интеллектуальная система диагностирования отказов и восстановления режущей части инструментов / А. Г. Деревянченко // Искусств. интеллект. 2013. – № 1. – С. 218–224.
4. Диагностирование машин-автоматов и промышленных роботов : сб. статей / АН СССР ; Ин-т машиноведения им. А. А. Благоднарова ; ред. кол. : Е. Г. Нахапетян, Е. А. Цуханова (отв. ред.) [и др.]. – М. : Наука, 1983. – 152 с.
5. Ломакина Л. С. Диагностирование сложных технических систем с использованием современных информационных технологий / Л. С. Ломакина, В. П. Губернаторов // Информатика та мат. методи в моделюванні. – 2013. – № 4. – С. 331–341.
6. Мислович М. В. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів / М. В. Мислович, Р. К. Сисак // Техн. електродинаміка. – 2015. – № 1. – С. 78–85. - Бібліогр.: 9 назв.
7. Патент РФ № 2 735 171 С1 на изобретение СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ - МЕЙРАН, Йоахим (DE), ШЕДИНГ, Маркус (DE) МПК G05B 15/00,- Оpubл. 28.10.2020 Бюл. № 31
8. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – Москва «Машиностроение», 2007. – 256 с.
9. Сулейменов Б.А., Мутанов Г.М., Сулейменов А.Б. *Интеллектуальные системы управления: теория, методы, средства/ Алматы: 'asa' университети, 2012. – 224 с.*
10. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів. – Київ: «Либідь», 2003. – 270 с.
11. Федин С. С. Прогнозирование и вероятностная оценка долговечности технических объектов / С. С. Федин // Систем. дослідж. та інформ. технології. – 2010. – № 2. – С. 55–63.
12. Gaines B.R., Norrie D.H. Knowledge Systematization in the International IMS Research Program // Proc. of IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for 21st Century. -1995. - Vol.1. - P. 958 - 963.
13. Gola A., Świć. A. Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки 2013, 4(142), s. 312-318.
14. Groover M.P., Zimmers E.W., CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. – 528 p.
15. Palchevsky B., Swic A., Krestianpol H., Computer integrated designing of flexible manufacturing systems, Lublin University of Technology, Lublin 2015.-376 p.
16. Patent USA № 4 670 834 SYSTEM AND METHOD FOR AUTOMATIC DIAGNOSTIC PROGRAM MODIFICATION BASED ON CONTROL PROGRAM MODIFICATION - Mark Byal; Francis G.Leo; Marvin J.Schwenke. МПК G06F 15/00, 02.06.1987.
17. Policymaker's A. Guide to Smart Manufacturing, Information Technology & Innovation Foundation (ITIF), 30 November 2016, <https://www.itif.org/publications/2016/11/30/policymakers-guide-smart-manufacturing>.
18. Prasanth, S. P.; Pramod, V.R.; Jagathy Raj, V. P. Barriers in TPM Implementation in Industries. // International Journal of Scientific & Technology Research. 2, 5(2013), pp. 28-33.
19. Schwabinger M., Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.