

**Марченко Н.Б.**

Національний авіаційний університет

**Монченко О.В.**

Національний авіаційний університет

**Мартинюк Г.В.**

Національний авіаційний університет

## БАГАТОРІВНЕВІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ ЯК КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті розглядаються інтелектуальні інформаційні системи моніторингу та діагностики складних промислових об'єктів з урахуванням сучасних інформаційних технологій. Показані шляхи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування таких складних промислових об'єктів. Проведений у роботі аналіз параметрів ефективності дозволив визначити декомпозицію основної задачі розробки методів і засобів побудови адаптивної систем багаторівневого моніторингу і діагностування складних промислових об'єктів.

Особливість роботи полягає в тому, що треба вирішувати комплексну задачу побудови систем багаторівневого моніторингу і діагностування складних промислових об'єктів як інтегрованих систем на основі принципів самоорганізації складних систем. Запропонована дворівнева система моніторингу та діагностування стану складних промислових об'єктів, яка відрізняється від аналогів здатністю автоматичного вибору оптимальних режимів роботи підсистем при зміні характеристик вхідного потоку заявок, єдиний підхід, що дозволяє синтезувати оптимальну структуру систем багаторівневого моніторингу і діагностування на етапі проектування і вибрати оптимальний режим роботи підсистем у процесі експлуатації. Представлений метод дослідження систем багаторівневого моніторингу і діагностування на основі багаторівневої моделі масового обслуговування з використанням блока адаптації до зміни інтенсивності вхідного потоку. У роботі представлена розробка узагальненого критерію оцінки ефективності дослідження систем багаторівневого моніторингу і діагностування складних промислових об'єктів і частинних критеріїв для кожної підсистеми, а також дослідження й аналіз методів і засобів організації адаптивних систем багаторівневого моніторингу та діагностування складних промислових об'єктів і вибору ефективних режимів роботи.

**Ключові слова:** автоматизовані системи управління, системи багаторівневого моніторингу і діагностування, адаптивні багаторівневі систем моніторингу та діагностування, оцінки ефективності, багаторівневі моделі масового обслуговування.

**Постановка проблеми.** Одним із основних факторів підвищення ефективності виробництва є забезпечення працездатності й оптимальних технологічних режимів промислового обладнання з використанням автоматизованих систем управління технологічним процесом (далі – АСУ ТП), оснащених сучасними засобами технічної діагностики.

Якість функціонування та застосування засобів технічної діагностики за умов складних технічних об'єктів, техногенних систем зі складною топологією розміщення великої кількості об'єктів визначається ефективністю організації систем технічної діагностики й управління режимами

діагностування на основі багаторівневого моніторингу загального стану об'єктів. Необхідною умовою для подальших досліджень є визначення класу складних промислових об'єктів, основною ознакою якого є складність для моніторингу та діагностування, зумовлена стохастичністю процесів, що відбуваються, складністю конструкції та дефіцитом доступної для контролю інформації.

Інтеграція багаторівневого моніторингу і діагностування зумовила необхідність створення методів і засобів побудови систем багаторівневого моніторингу і діагностування (далі – СБМД). Особливо актуальною на сучасному етапі стає проблема розробки методологічних принципів побу-

дови автоматизованих СБМД для класу складних промислових об'єктів (ГЕС, ТЕС, АЕС).

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження, аналіз і розробка нових методів і засобів побудови ефективних адаптивних багаторівневих систем моніторингу та діагностування складних промислових об'єктів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Створення методології побудови адаптивних СБМД складних промислових об'єктів визначає вирішення таких основних задач:

- розробки узагальненої функціонально-логічної моделі складних промислових об'єктів;
- аналізу наявних методів і засобів побудови системи багаторівневого моніторингу та діагностики складних промислових об'єктів і визначення концепції створення методології СБМД складних промислових об'єктів;
- розробки узагальненого критерію оцінки ефективності СБМД складних промислових об'єктів і частинних критеріїв для кожної підсистеми;
- дослідження й аналізу методів і засобів організації адаптивних СБМД складних промислових об'єктів і вибору ефективних режимів роботи.

Особливість роботи полягає в тому, що треба вирішувати комплексну задачу побудови СБМД складних промислових об'єктів як інтегрованих систем на основі принципів самоорганізації складних систем. Запропонована дворівнева система моніторингу та діагностування стану складних промислових об'єктів, яка відрізняється від аналогів здатністю автоматичного вибору оптимальних режимів роботи підсистем при зміні характеристик вхідного потоку заявок. Запропоновано єдиний підхід, що дозволяє синтезувати оптимальну структуру СБМД на етапі проектування і вибрати оптимальний режим роботи підсистем у процесі експлуатації. Представлений метод дослідження СБМД на основі багаторівневої моделі масового обслуговування з використанням блока адаптації до зміни інтенсивності вхідного потоку. Надалі на базі цих досліджень може бути розроблений комбінаційно-ймовірнісний метод аналізу режимів роботи СБМД із циклічною дисципліною обслуговування заявок, а також алгоритм обчислення числа маршрутів у системі з циклічним обслуговуванням заявок.

Основними положеннями роботи є:

1. Дворівнева система СБМД складних промислових об'єктів, що містить на верхньому рівні підсистему моніторингу, а на нижньому – підсистему діагностування.

2. Сукупність методів для вибору оптимальної СБМД складних промислових об'єктів на етапі проектування й ефективних режимів роботи на етапі експлуатації.

3. Система імітаційних моделей для дослідження, аналізу та вибору проектних рішень при побудові СБМД складних промислових об'єктів.

4. Алгоритмічне, програмне та технічне забезпечення для реалізації методів побудови адаптивних СБМД складних промислових об'єктів.

5. Результати дослідження методів і засобів побудови СБМД складних промислових об'єктів.

У роботі [1, с. 123] розглянуті різні аспекти СБМД як складового елемента АСУ ТП, а саме: структурний, функціональний та економічний. Показано, що у складі сучасних АСУ ТП системи моніторингу на рівні підсистем виконують функції інтелектуального датчика стану об'єктів. Слід відзначити, що принцип управління за обмеженим числом параметрів, який широко використовується в АСУ ТП, може бути застосований переважно для детермінованих об'єктів і не є адекватним у випадку промислових об'єктів, що відрізняються складною структурою та стохастичною поведінкою. СБМД у складі АСУ ТП дозволяє забезпечити керуючі органи додатковою інформацією про стан об'єкта, отриманою на основі ускладненої обробки параметрів об'єктів, які доступні для вимірювання. Особливістю структури багаторівневих систем, що розглядаються, є те, що прийняття рішення щодо стратегії попередження та ліквідації наслідків нерегламентованих станів виконується безпосередньо СБМД, що розвантажує керуючі органи та забезпечує АСУ ТП необхідними функціональними інструментами [2, с. 63; 3, с. 80–84].

Основною задачею побудови СБМД є визначення проектних рішень, які дозволяють отримати максимальне значення вибраного критерію  $E$  [4, с. 54]:

$$E = \max E(X) \\ E \in E_p, X \in F \quad (1)$$

$$F_x = \{X | Z_p(X) \leq Z_s, T_p(X) \leq T_s\},$$

де  $E(X)$  та  $E_p$  – відповідно цільова функція проектування СБМД та допустима область зміни  $E$ ;  $X$  – вектор проектних показників СБМД, що містить у собі проектні характеристики підсистем, тобто  $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$ ;  $F$  та  $F_x$  – відповідно вся допустима область змін  $X$ ;  $Z_p$  та  $Z_s$  – відповідно фактичні та допустимі собівартісні затрати на отримання проектних параметрів системи;  $T_p$

та  $T_s$  – відповідно реальний і допустимий час на прийняття остаточного рішення в СБМД.

З урахуванням (1) постановку задачі на проектування СБМД можна представити таким чином [2, с. 64; 5, с. 44]:

$$X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\} \rightarrow \max E(X) | Z_p \leq Z_s, T_p \leq T_s. \quad (2)$$

$$X \in F \quad E \in E_p$$

Оскільки задачею СБМД є визначення належності досліджуваного стану до одного зі станів класу нерегламентованого стану (НС) або до класу регламентованих станів (РС) і прийняття відповідних рішень, цільову функцію СБМД можна представити таким чином [2, с. 64]:

$$E = \sum_{i=1}^M N_i \{ [e_i(1-\alpha) + z_{\alpha,i}\alpha] \cdot P_i + [e_B(1-\beta) + z_{\beta,i}\beta] \cdot P_B \}, \quad (3)$$

де  $M$  – число видів контрольованих станів СБМД, що входять до стану НС і визначають повноту діагностування;  $N_i$  – число перевірок на  $i$ -ий НС протягом деякого інтервалу  $T$ ;  $e_i$  та  $e_B$  – ефект від правильного прийняття рішень, якщо контролюється  $i$ -ий стан із класу НС або стан із класу РС;  $z_{\alpha,i}$  та  $z_{\beta,i}$  – відповідні ефекти у вигляді затрат від помилкового прийняття рішень;  $\alpha$  і  $\beta$  – відповідно похибки першого та другого роду при виборі остаточного рішення СБМД;  $P_i$  та  $P_B$  – апіорні ймовірності  $i$ -го НС та РС складних промислових об'єктів. З виразу (3) видно, що проектними є параметри  $\alpha$  і  $\beta$ , які характеризують похибки прийняття рішень у СБМД, інші аргументи визначають умови задачі. Параметри  $\alpha$  і  $\beta$  можуть бути отримані у процесі випробування СБМД за реальних умов, а також внаслідок обчислення відповідних аналітичних виразів, отриманих у процесі розробки СБМД [6, с. 37]. Середня статистична оцінка загальної достовірності прийняття рішень у СБМД за результатами випробувань визначається таким чином:

$$D = 1 - \frac{\alpha + \beta}{2}. \quad (4)$$

Слід зауважити, що параметри  $\alpha$  і  $\beta$  у виразі (3) є узагальненими, оскільки рішення приймається на основі сумісної роботи підсистем контролю, діагностування, прогнозування і прийняття рішень. З урахуванням послідовного характеру роботи підсистем при обробці кожної заявки загальна достовірність прийняття рішень визначається таким чином:

$$D = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4, \quad (5)$$

де співмножники характеризують достовірності прийняття рішень і визначаються з урахуванням специфіки конкретної підсистеми

[7, с. 139]. Зокрема,  $D_1$  та  $D_2$  оцінюються за виразом (4), а  $D_3$  та  $D_4$  як ймовірності знаходження заданої похибки прогнозу залишкового ресурсу та прогнозу виникнення несанкціонованих станів складних систем на перспективу.  $D_3$  та  $D_4$  на стадії проектування системи визначаються з використанням статистик Стьюдента за таблицями  $t$ -розподілу. На стадії випробувань та експлуатації ці параметри визначаються як співвідношення підтвердження прогнозів до загального числа прогнозів. Вираз (5) справедливий для СБМД, у яких показники достовірності не залежать від змін станів об'єктів у часі. Особливістю класу СБМД складних промислових об'єктів є їх функціонування за умов динамічного вимірювання стану об'єктів і відповідної зміни інформативності параметрів, що суттєво впливає на характеристики СБМД, представлені у виразі (1). Крім того, залежно від оперативності прийняття рішень знаходиться частка залишкового ресурсу об'єкта, величина якого є обернено залежною від часових затримок на прийняття рішень і яку можна зберегти при достовірному рішенні. На рис. 1 представлено графіки втрати якості складних промислових об'єктів ( $L(t)$ ), зміни ймовірності правильного прийняття рішень ( $D(t)$ ) та ефективності від прийняття рішень ( $E(t)$ ).

Точка  $a$  на графіку втрат відповідає початковому моменту виникнення НС, точка  $b$  – моменту визначення відхилень у стані складного промислового об'єкта, точки  $c$ ,  $d$  та  $e$  відповідають моменту часу оптимального прийняття рішення з погляду мінімальної похибки та максимально можливого збереження залишкового ресурсу складного промислового об'єкта [4, с. 59].

При відомих залежних  $D(t)$  та  $L(t)$  оцінка якості СБМД визначається згідно з виразом:

$$K(t) = D(t) \cdot [1 - L(t)], \quad (6)$$

де  $t$  – поточний час, починаючи з моменту визначення НС.

$$D(t) = D_1(t) \cdot D_2(t) \cdot D_3(t) \cdot D_4(t), \quad (7)$$

де  $D_1(t) - D_4(t)$  – параметри, що характеризують достовірності прийняття рішень для кожної з чотирьох підсистем СБМД, які відповідають моменту часу  $t$ .

У (6) параметр  $K(t)$  характеризує ймовірнісну величину збереженого ресурсу складного промислового об'єкта у разі достовірного рішення. Аналіз виразів (5) і (6) дозволяє зробити висновок щодо можливості застосувати параметри

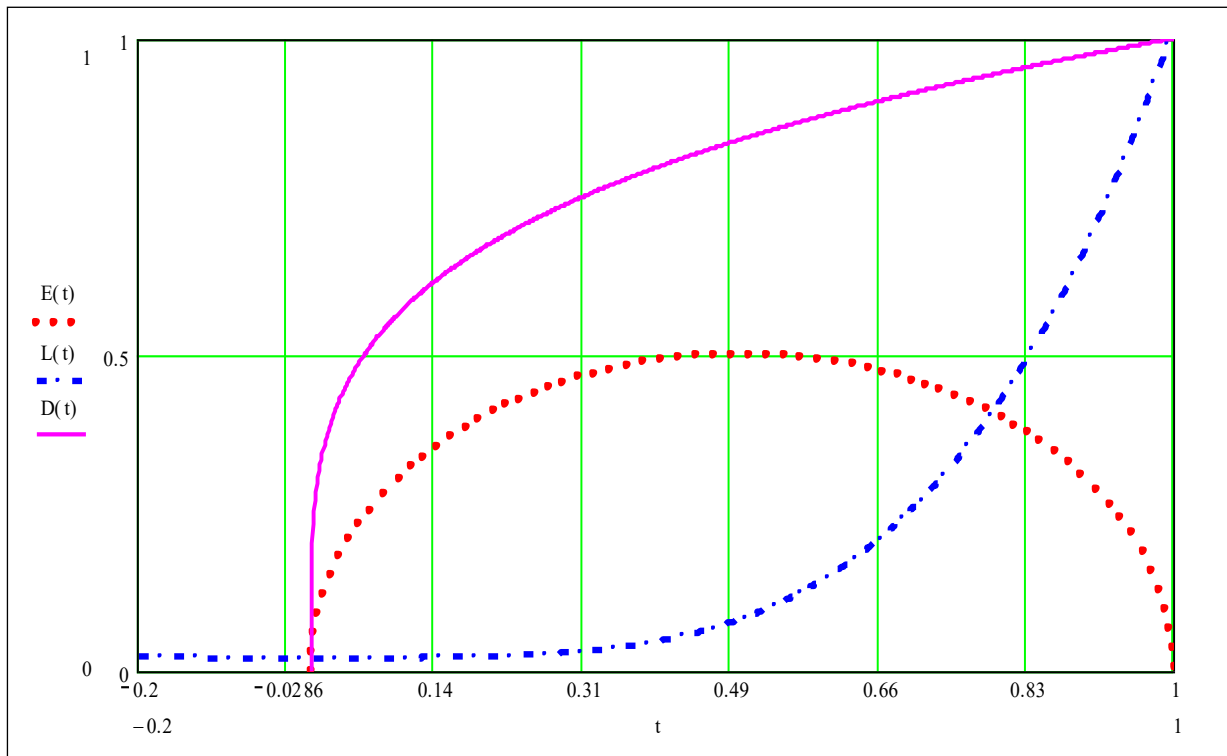


Рис. 1. Графіки зміни достовірності прийняття рішень –  $D(t)$  —, втрати якості складного промислового об'єкта –  $L(t)$  — та ефективності СБМД –  $E(t)$  ●●●

$D(t) i K(t)$  як критеріїв оцінки якості СБМД. Використання критерію (6) дозволяє враховувати динаміку виникнення і розвитку технологічних порушень, ефективність роботи кожної підсистеми СБМД залежно від часових обмежень і характеру виникаючих НС, вплив якості роботи однієї підсистеми на результат функціонування інших підсистем, а також внесок якості кожної підсистеми в загальний результат СБМД [5, с. 29].

Аргументи цільової функції (1)  $M, N_i, P_i$  мають імовірнісний характер, змінюються в певному діапазоні та становлять множину змінних параметрів  $V_1$ . Вони є загальними для всіх підсистем СБМД. Крім них існує низка параметрів, об'єднаних у множині  $V_2$ , які мають стохастичний характер і впливають на ефективність конкретної підсистеми. До цих параметрів, зокрема, належать: середня ймовірнісна інформативність ознак, їхня кількість, характеристики закону розподілу величин. Множину змінних ознак складних промислових об'єктів можна представити як:

$$V = \{V_1, V_2\}. \quad (8)$$

Оскільки кожний стан складного промислового об'єкта характеризується відповідним перерахунком і значеннями параметрів  $V$ , для підтримання максимального значення цільової функції (1) при зміні станів об'єкта необхідні

адекватні зміни параметрів вектора  $X$  відповідно до таких виразів:

$$\begin{aligned} \max E &= \Phi_0 \{V, X\}, \\ \max E &\in E_p, \Phi_0 \in \Phi, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $V = \{v_i\}, v_i = var, i = \overline{1, N}$ ;  $X = \{X_j\}, j = \overline{1, 4}$ ;  $X_j = \{x_{jk}\}, x_{jk} = var, k = \overline{1, M}$ ,  $\Phi_0$  та  $\Phi$  відповідно функціонал, що забезпечує  $\max E$  і множину можливих функціоналів [3, с. 79; 5, с. 31].

Під функціоналом  $\Phi_0$  мається на увазі певний алгоритм із множини  $\Phi$ , що дозволяє для конкретної сукупності параметрів  $E$  визначити відповідні параметри вектора  $X$ , які забезпечують  $\max E$  серед значень  $E$ , отриманих за тих самих умов іншими алгоритмами із множини  $\Phi$ . Для представлення співвідношення (9) використовують алгоритми параметричної адаптації та самоорганізації моделей функціонування підсистем.

Із виразу (9) випливає, що основна задача побудови СБМД визначається як задача сумісного пошуку параметрів  $X$  та функціонала  $\Phi_0$ , які забезпечують максимальне значення цільової функції, що задовольняє умову економічності використання СБМД:

$$\begin{aligned} \Phi_0 \{V, X\} : E_{\Phi_0} &= \max E(V, X), \\ \Phi_0 &\in \Phi, \max E \in E_p \end{aligned} \quad (10)$$

Проведений у роботі аналіз параметрів ефективності дозволив визначити декомпозицію основної задачі розробки методів і засобів побудови адаптивної СБМД складних промислових об'єктів, згідно з якою до переліку підзадач, розв'язок яких забезпечує максимум цільової функції (1), включені: вивчення характеристик складних промислових об'єктів, що становлять вектор  $V$ , розробка і дослідження моделей СБМД та її компонентів, розробка методів і засобів побудови СБМД складних промислових об'єктів  $i$ , у

перспективі, апробація результатів на прикладі СБМД конкретних об'єктів.

**Висновки.** Отже, в роботі визначено клас складних промислових об'єктів, основною ознакою якого є складність для моніторингу і діагностування, зумовлена стохастичністю процесів, що відбуваються, складністю конструкції та дефіцитом доступної для контролю інформації. Характерними представниками складних промислових об'єктів є: ТЕС, ГЕС, АЕС, об'єкти кольорової металургії.

### Список літератури:

1. Трофимова Л.А., Трофимов В.В. Управление знаниями : учебное пособие. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУЭФ, 2012. 177 с.
2. Стогній Б.С., Сопель М.Ф. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу. *Технічна електродинаміка*. 2013. № 1. С. 62–69.
3. Марченко Н.Б., Щербак Т.Л. Багаторівневі системи моніторингу стану та діагностики складних технічних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. № 87. С. 77–84.
4. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 5. С. 52–66.
5. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. European Commission, 2006. 44 p.
6. Гончарова Л.Л., Максимчук В.Ф., Стасюк О.І. Методи організації комп'ютерної мережі моніторингу параметрів режимів систем електропостачання. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. № 2. С. 35–40.
7. Писаревська Т.А. Інформаційні системи і технології в управлінні трудовими ресурсами : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2000. 279 с.

### Marchenko N.B., Monchenko O.V., Martinyuk G.V. MULTI-LEVEL MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEMS AS A CONSTRUCTIVE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL INFORMATION SYSTEMS

*The article considers intelligent information systems for monitoring and diagnostics of complex industrial facilities, taking into account modern information technologies. The ways of computer intellectualization of the modes of operation of such complex industrial objects are shown. The analysis of efficiency parameters carried out in the work allowed to determine the decomposition of the main task of developing methods and means of building adaptive systems of multilevel monitoring and diagnostics of complex industrial facilities.*

*The peculiarity of the work is that it is necessary to solve the complex problem of building multi-level monitoring systems and diagnosing complex industrial facilities as integrated systems based on the principles of self-organization of complex systems. At the same time, a two-level system of monitoring and diagnosing the condition of complex industrial facilities is proposed, which differs from analogues by the ability to automatically select the optimal modes of operation of subsystems when changing the characteristics of the incoming flow of applications. A single approach is proposed that allows to synthesize the optimal structure of multilevel monitoring and diagnosing systems at the design stage and select the optimal mode of operation of subsystems during operation. The method of research of systems of multilevel monitoring and diagnosing on the basis of multilevel model of queuing with use of the block of adaptation to change of intensity of an input stream is presented. The paper presents the development of a generalized criterion for evaluating the effectiveness of research systems of multilevel monitoring and diagnosis of complex industrial facilities and partial criteria for each subsystem, as well as research and analysis of methods and tools for adaptive research systems of multilevel monitoring and diagnosis of complex industrial facilities and selection of effective operating modes.*

**Key words:** automated control systems, multilevel monitoring and diagnosing systems, adaptive multilevel monitoring and diagnosing systems, efficiency evaluations, multilevel queuing models.