УДК 004.891.2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ОБ'ЄКТА ЗА ВЕКТОРОМ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

Рожков С. О., *д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації судового електрообладнання и засобів автоматики Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: rozhkov_ser@meta.ua;*
Кондрашов К. В., *PhD, електромеханік 1-го розряду, e-mail: kondrashov_82k.v@ukr.net;*
Тимофеєв К. В., *к.т.н., доцент кафедри експлуатації судового електрообладнання и засобів автоматики Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: kvtimofeev2013@gmail.com;*
Бутаков І. Б., *аспірант кафедри експлуатації судового електрообладнання и засобів автоматики Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: bib7677@gmail.com;*
Старов М. В., *аспірант кафедри експлуатації судового електрообладнання и засобів автоматики Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail:mykola-starov@ukr.net.*

У статті розглядається перспективний метод діагностики та автоматичного контролю за вектором параметрів для вирішення проблеми підвищення ефективності експлуатації суднової аварійно-попереджувальної системи (АПС). У математичній моделі системи діагностування стану суднових систем реалізовано алгоритм, який дозволяє забезпечити автоматичний моніторинг та прогнозування стану судна та його систем. Реалізація в системі управління додаткового зворотного зв'язку у вигляді регулятора дозволяє не тільки накопичувати інформацію про прийняті рішення, отримані результати та сигнали про несправності, але й забезпечує сумісність результатів на основі діагностичної інформації. Використання системи підтримки прийняття рішень зі зворотним зв'язком (СППР, англ. DSS – decision support system) у завданнях автоматичного контролю, як інтелектуальної системи із спостерігачем за вектором стану, дозволяє отримувати інформацію про стан суднових систем у режимі реального часу та прогнозувати їхній майбутній стан.

***Ключові слова**: аварійно-попереджувальна сигналізація, діагностування, інформаційна система, надійність, експлуатація.*

DOI: 10.33815/2313-4763.2021.2.25.092-100

Вступ. На всіх сучасних суднах, незалежно від типу та конструкції, використовують системи діагностування обладнання – систему аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС) [1, 2]. Основним завданням таких суднових АПС є безперервне діагностування суднових систем у режимі реального часу. До числа найбільш ефективних АПС можна віднести наступні системи: NORCONTROL 8810; UMS 2100 датської фірми «LINGSO MARINE»; AUTO CHIEF-700 німецької фірми «KONGSBERG»; MANAGER 301M.

Актуальність дослідження. Загальний процес роботи АПС можна описати наступним чином:

– отримання інформації про стан об'єкту діагностування і перетворення її для подальшої обробки;

– виявлення в інформації, що надходить, ознак відхилення параметрів і формування попереджувального або аварійного сигналу про настання цієї події.

Поняття стану системи є основним вихідним поняттям [3], тому що стан системи відокремлює майбутнє від минулого і містить всю інформацію, яка необхідна для визначення реакції об'єкта на довільний вхідний сигнал. Основною властивістю стану є те, що майбутні значення його не залежать від характеру досягнення системою її поточного стану. Таким чином, можна сформулювати властивості, якими повинна володіти система, поведінка, якої відповідає поняттю стану.

Далі будемо використовувати наступні визначення (1): $\mathbf{x}$ – вектор станів, $\mathbf{u}$ – вектор управління, $\mathbf{g}$ – вектор збурення,

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \mathbf{x}; \quad \dim \mathbf{x} = n; \quad \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} = \mathbf{u}; \quad \dim \mathbf{u} = m; \quad \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{bmatrix} = \mathbf{g} \quad \dim \mathbf{g} = k. \tag{1}$$

Для можливості обліку конструктивних особливостей об'єкта введемо множину параметрів у вигляді матриці A. Також введемо поняття динамічного об'єкта W, який набирає вигляду $W = W(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{g}, A)$. Якщо припустити, що $A = const$, а також незалежність поведінки системи від зовнішніх впливів, то можна досліджувати залежність векторів від часу. Для цього зафіксуємо точку режиму при $\mathbf{x}^*$, $\mathbf{u}^*$, $\mathbf{g}^*$.

З огляду на умови збереження стану *об'єкту діагностування* (ОД) без урахування управління та збурення, для вихідної величини (1) отримуємо:

$$\mathbf{x} \in \varepsilon(\mathbf{x}^*) \to \mathbf{y} \approx \mathbf{x}^* + \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2{}_{\mathbf{x}^*}} \frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3{}_{\mathbf{x}^*}} \frac{d^3\mathbf{x}}{dt^3} + \ldots + \mathbf{R} = \mathbf{0}. \tag{2}$$

Для зміни контрольованих параметрів об'єкта діагностування в межах допустимих режимів роботи без управлінь та збурень отримуємо різні моделі, формулюючи їх відносно старшої похідної (табл. 1).

Таблиця 1 – Моделі допустимих режимів роботи ОД

Порядок моделі	***Рівняння моделі***
1	$\frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}}\right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$
2	$\frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} + \left(\frac{1}{2}\frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2{}_{\mathbf{x}^*}}\right)^{-1} \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}}\right) \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left(\frac{1}{2}\frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2{}_{\mathbf{x}^*}}\right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$
3	$\frac{d^3\mathbf{x}}{dt^3} + \left(\frac{1}{6}\frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3{}_{\mathbf{x}^*}}\right)^{-1} \left(\frac{1}{2}\frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2{}_{\mathbf{x}^*}}\right) \frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} + \left(\frac{1}{6}\frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3{}_{\mathbf{x}^*}}\right)^{-1} \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}}\right) \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left(\frac{1}{6}\frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3{}_{\mathbf{x}^*}}\right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$

Позначивши матриці в рівняннях моделі як A_0, A_1, A_2, отримаємо стандартну форму моделі динаміки системи в просторі станів. Рівняння зміни стану ОД у межах допустимих значень лінійної системи третього порядку має вигляд:

$$\dddot{\mathbf{x}} + A_2\ddot{\mathbf{x}} + A_1\dot{\mathbf{x}} + A_0\mathbf{x} = \mathbf{0}. \tag{3}$$

Вплив управлінь та збурень на ОД можна описувати за тим же методом, але зазвичай є достатні моделі з правою частиною нульового порядку [3, 4]:

$$\dddot{\mathbf{x}} + A_2\ddot{\mathbf{x}} + A_1\dot{\mathbf{x}} + A_0\mathbf{x} = B\mathbf{u} + Q\mathbf{g}. \qquad 4)$$

Для опису моделі динамічної системи ОД у просторі станів застосуємо формулу Коші:

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + Q\mathbf{g}. \tag{5}$$

Виходячи з формули (5), можна стверджувати про можливість моделювання динамічного об'єкта. У найпростішому випадку спостерігаються впливи управління та збурення при відомих матрицях моделі ОД. Об'єднавши рівняння моделі та об'єкта, отримаємо систему:

$$\left.\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + Q\mathbf{g}\\ \dot{\mathbf{x}}_m &= A_m\mathbf{x}_m + B_m\mathbf{u}_m + Q_m\mathbf{g}_m\end{aligned}\right\}. \tag{6}$$

Припущення ідентичності моделі об'єкта та вимірюваним управлінням і збуренням для оцінки відхилення моделі від об'єкта дозволяє реалізувати модель W_m для об'єкта W у вигляді простої схеми, яку показано на рис. 1. Отримана модель W_m може «рухатися» у темпі об'єкта W або випереджати його.

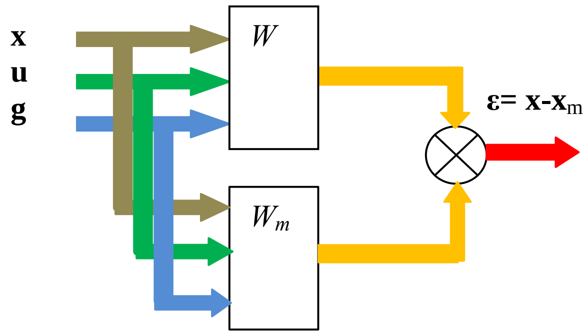

Рисунок 1 – Система формування оцінки відхилення системи та її моделі

Під помилкою будемо розуміти різницю вектора стану об'єкта діагностування та його моделі:

$$\dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m = A\mathbf{x} - A_m\mathbf{x}_m + B\mathbf{u} - B_m\mathbf{u}_m + Q\mathbf{g} - Q_m\mathbf{g}_m. \tag{7}$$

Для ідентичної моделі і вимірюваних управліннях та збуреннях отримуємо рівняння у відхиленнях

$$A = A_m;\; B = B_m;\; Q = Q_m \quad \rightarrow \quad \dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m = A(\mathbf{x} - \mathbf{x}_m) \quad \rightarrow \quad \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = A\boldsymbol{\varepsilon}. \tag{8}$$

При рівних початкових умовах модель та система знаходяться в рівних станах $\boldsymbol{\varepsilon} = 0$. При різних початкових умовах та за умови асимптотичної стійкості системи (8), помилка оцінки вектора стану призведе до нуля тільки через певний час. Усунути такий недолік в оцінці вектора станів можна введенням пропорційного регулятора в управління моделлю з матрицею передачі W_c . Таким чином, отримуємо систему рівнянь (9):

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = (A + W_c)\boldsymbol{\varepsilon} \quad \rightarrow \quad \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = G\boldsymbol{\varepsilon}. \tag{9}$$

Алгоритм усунення помилки оцінювання стану (9) зображено на рис. 2. Реалізація додаткового контуру регулювання за помилкою дозволяє достатньо швидко усунути помилку, яка позначається відмінностями початкових умов. У такому випадку модель буде «наздоганяти» об'єкт, коректуючи своє управління на помилку $\boldsymbol{\varepsilon}$.

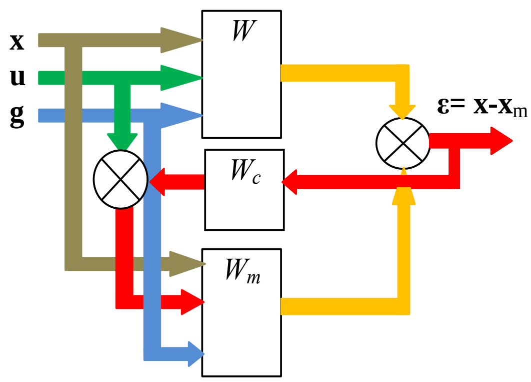

Рисунок 2 – Алгоритм усунення помилки початкових умов

Динамічні характеристики системи (9) визначаються власними числами матриці G. Оскільки матриця W_c обирається довільно, то за вибором W_c можемо відібрати власні числа матриці G, які забезпечать необхідну асимптотичну збіжність помилки оцінювання до нуля.

Такий асимптотичний спостерігач стану дозволяє виключити тільки помилку, яка пов'язана з початковими умовами або неконтрольованими збуреннями. Проте реалізація такого методу досить проста як в аналоговому, так і в цифровому алгоритмі. Наприклад, реалізація методом Рунге-Кутти першого порядку має вигляд для рівняння першого порядку (10):

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} \approx \frac{\mathbf{x}(t+\Delta t)-\mathbf{x}(t)}{\Delta t}; \quad \dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} \quad \rightarrow \quad \frac{\mathbf{x}(t+\Delta t)-\mathbf{x}(t)}{\Delta t} = A\mathbf{x}(t). \tag{10}$$

Таким чином, для пари «об'єкт-модель» отримуємо:

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{x}(t+\Delta t) &= \mathbf{x}(t) + A\mathbf{x}(t)\Delta t \\ \mathbf{x}_m(t+\Delta t) &= \mathbf{x}_m(t) + A\mathbf{x}_m(t)\Delta t \end{aligned}\right\};\rightarrow$$

$$. \tag{11}$$

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= \mathbf{x}_n \\ \mathbf{x}(t+\Delta t) &= \mathbf{x}_{n+1} \end{aligned}\right\} \rightarrow \dot{\varepsilon}_{n+1} = \varepsilon_n + A\varepsilon_n \Delta t$$

Для того, щоб отримати більш високу ступінь збіжності, введемо додатковий зв'язок:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_{n+1} = \boldsymbol{\varepsilon}_n + (A + W_c)\boldsymbol{\varepsilon}_n \Delta t\,. \tag{12}$$

Для ідентифікації моделей динамічних об'єктів [3–5] повторимо підхід, який використовується при побудові спостерігача. Припустимо, що в системі рівнянь у просторі станів матриця об'єкта відрізняється від матриці моделі. У найпростішому випадку одновимірної системи (суднової системи 1–3 рівня складності) маємо:

$$\left.\begin{aligned} \dot{x}(t) &= ax(t) \\ \dot{x}_m(t) &= a_m x_m(t) \end{aligned}\right\} \rightarrow \dot{x}(t) - \dot{x}_m(n) = ax(t) - a_m x_m(t)\,. \tag{13}$$

Приймемо $\Delta a = a - a_m$, $\Delta x = x - x_m$, таким чином отримаємо (13) у вигляді:

$$\Delta\dot{x} = a_m \Delta x + \Delta a x\,. \tag{14}$$

З рівняння (14) можна виміряти $\Delta x, x$, тому при оцінки матриці моделі Δa можемо визначити величину помилки

$$\Delta a = \frac{\Delta\dot{x} - a_m \Delta x}{x}. \tag{15}$$

Для багатовимірних систем, таких, наприклад, як суднова система діагностування, замість простого розрахунку (15) у просторі станів використовуються матричні рівняння [4–7, 9]. У структуру системи додається додатковий оптимальний регулятор W_i, який забезпечує підстроювання моделі під об'єкт (рис. 3). Таким чином, отримуємо структуру з двома регуляторами: асимптотичним спостерігачем W_c та ідентифікатором W_i, де регулятор W_i буде зменшувати помилку ε, наближуючи матрицю моделі або αm – вектор параметрів моделі. При прагненні вектора помилки ε до нуля, вектор параметрів моделі $\boldsymbol{\alpha}_m$ буде прагнути до вектора параметрів об'єкта $\boldsymbol{\alpha}$.

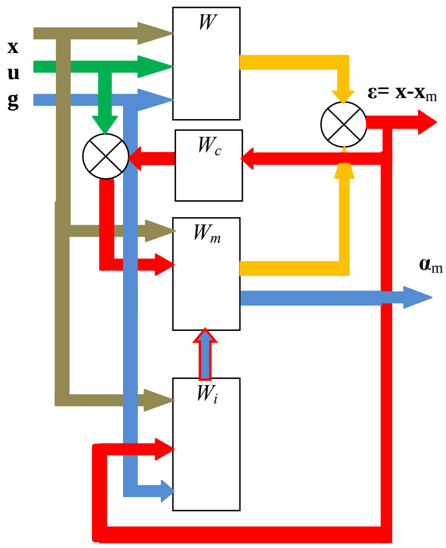

Рисунок 3 – Алгоритм відновлення вектора параметрів

Введемо вирішальне правило $L(\Delta\boldsymbol{\alpha})$ для визначення межі нормального стану об'єкта діагностування Ω:

$$\boldsymbol{\alpha} \in \Omega \quad if \begin{cases} \Delta\boldsymbol{\alpha}_1 \in \Omega_1 \subseteq \Omega \\ \Delta\boldsymbol{\alpha}_2 \in \Omega_2 \subseteq \Omega \\ \vdots \\ \Delta\boldsymbol{\alpha}_n \in \Omega_n \subseteq \Omega \end{cases} \tag{16}$$

Для кожного параметра α_{ij} моделі об'єкта будемо будувати алгоритм аналізу вектора параметрів. При визначенні всіх допустимих меж параметрів визначимо вирішальне правило:

$$\begin{cases} \alpha_{ij} \in \Omega \quad if \quad \left|\alpha_{ij} - \alpha^*_{ij}\right| < \varepsilon \\ \alpha_{ij} \notin \Omega \quad if \quad \left|\alpha_{ij} - \alpha^*_{ij}\right| \geq \varepsilon \end{cases} \tag{17}$$

Таким чином, отримуємо логічну функцію $L(\boldsymbol{\alpha})$, яка формує судження про стан об'єкта. Таким чином, загальна система діагностики та автоматичного контролю стану об'єкта прийме вигляд, який зображено на рис. 4.

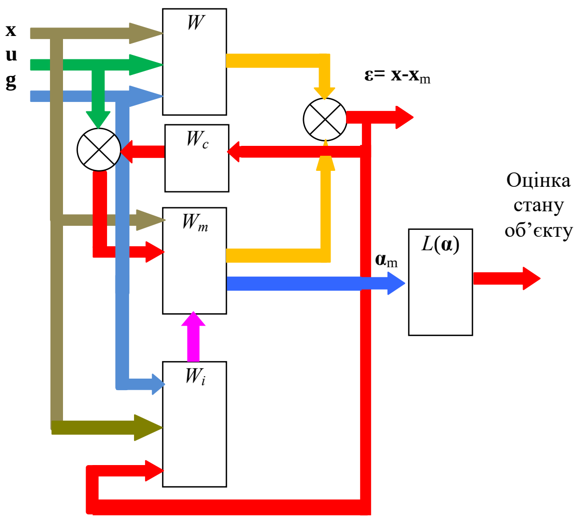

Рисунок 4 – Система автоматичного контролю стану об'єкта за вектором параметрів системи

Для обробки даних про несправності об'єктів діагностування, одержуваних від спостерігача, необхідно створення такої системи підтримки прийняття рішень, яка дозволить постачати оператору ненадмірну інформацією про методи та алгоритми усунення проблеми, що виникла.

Рішення задачі створення такої системи контролю та діагностики стану об'єкта за вектором станів, а також варіанти вирішення виниклих проблем, представлено на рис. 5.

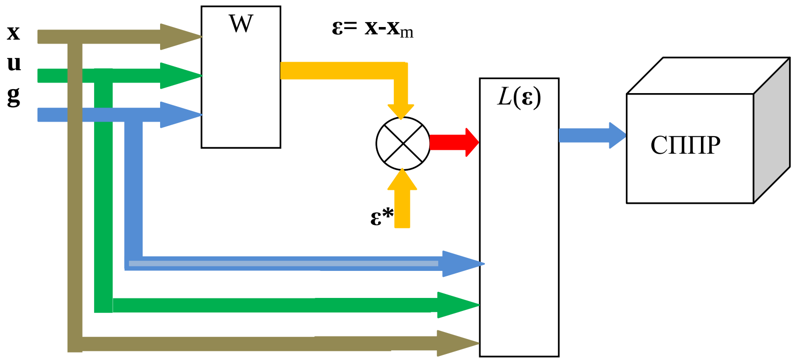

Рисунок 5 – Структура системи автоматичного контролю та діагностики за вектором стану

Визначимо оцінку стану у вигляді логічного висловлювання, яке визначає зв'язок компонент вектора станів з множиною оцінок стану об'єкта:

$$\begin{cases} \alpha_i = 1 & if \quad |x_i - x^*_i| < \varepsilon \\ \alpha_i = 0 & if \quad |x_i - x^*_i| \geq \varepsilon \end{cases}; \qquad i = \overline{1, n}\,. \tag{18}$$

Визначивши алфавіт станів об'єкта, отримуємо загальний алгоритм прийняття рішень:

$$\omega = \begin{cases} \omega_1 \quad if \bigcup_{i=1}^{n} a_i \\ \omega_1 \quad if \bigcup_{i=2}^{n} a_i \bigcup \overline{a}_1 \\ \vdots \\ \omega_1 \quad if \bigcup_{i=1}^{n} \overline{a}_i \end{cases}. \tag{19}$$

Таким чином, отримано простий алгоритм системи автоматичної діагностики стану об'єкта. Якщо додати аналіз управлінь та збурень, то з'являється можливість оцінювати стан об'єкта в широкому спектрі режимів і навантажень. Але недоліком такого підходу є відсутність зв'язку вирішального правила (19) з вектором параметрів об'єкта.

Для прогнозу стану об'єкта необхідно оцінити швидкість зміни $\boldsymbol{\alpha}$-вектора параметрів об'єкта, що часто важко виконати за оцінкою вектора станів.

Для вектора параметрів можливо оцінити динаміку рівняння в просторі станів параметрів з матрицею, при цьому виділяється область S, належність до якої вектора станів визначає позитивний прогноз працездатності системи:

$$\frac{d\boldsymbol{\alpha}}{dt} = Q\boldsymbol{\alpha} \quad \to \quad \omega \in \begin{cases} \Omega_1 & if \boldsymbol{\alpha} \in S \\ \Omega_1 & if \boldsymbol{\alpha} \notin S \end{cases}. \tag{20}$$

Таке рівняння може бути ідентифіковано методами, які були описані раніше та може виступати як модель прогнозу.

Аналіз стану об'єкта за швидкістю зміни параметрів дозволяє побудувати систему прогнозу відмов, яку показано на рис. 6.

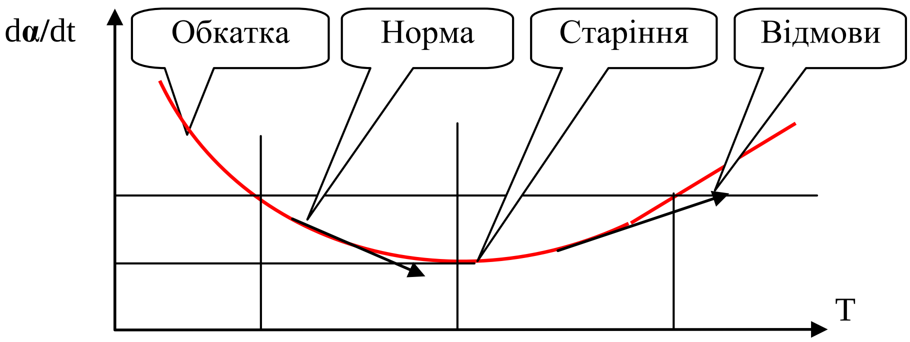

Рисунок 6 – Швидкість зміни вектора параметрів та прогноз відмов

Спостерігаючи за вектором параметрів моделі, використовуємо вектор стану $\mathbf{x}$, вектор управління $\mathbf{u}$, вектор збурення $\mathbf{g}$ та вектор параметрів $\boldsymbol{\alpha}$. При такому спостереженні стан системи оцінюється щодо допустимих значень. Таким чином, стан системи відноситься до множини нормальних станів W^*, якщо всі вектора укладаються в задані рамки:

$$W \in W^* \quad if \begin{cases} \|\mathbf{x}-\mathbf{x}^*\| \le \varepsilon_x \\ \|\mathbf{u}-\mathbf{u}^*\| \le \varepsilon_u \\ \|\mathbf{g}-\mathbf{g}^*\| \le \varepsilon_g \\ \|\boldsymbol{\alpha}-\boldsymbol{\alpha}^*\| \le \varepsilon_\alpha \end{cases}. \tag{21}$$

Вираз (21) визначає вимоги відповідності вектора параметрів:

$$W \in W^* \quad if \begin{cases} \|\mathbf{x}-\mathbf{x}^*\| \le \varepsilon_x \\ \|\mathbf{u}-\mathbf{u}^*\| \le \varepsilon_u \\ \|\mathbf{g}-\mathbf{g}^*\| \le \varepsilon_g \\ \|\boldsymbol{\alpha}-\boldsymbol{\alpha}^*\| \le \varepsilon_\alpha \end{cases} \Leftrightarrow \|\boldsymbol{\alpha}-\boldsymbol{\alpha}^*\|_{\substack{\|\mathbf{g}-\mathbf{g}^*\|\le\varepsilon_g \\ \|\mathbf{u}-\mathbf{u}^*\|\le\varepsilon_u}} \le \varepsilon_\alpha . \tag{22}$$

Якщо при допустимих управліннях та збуреннях вектор параметрів у нормі, то в такому випадку і вся система буде в нормальному стані.

Основні результати та висновки. Метод діагностики та автоматичного контролю за вектором параметрів є перспективним, тому що знання вектора параметрів об'єкта дозволяє визначити стан об'єкта, и таким чином контролювати стан об'єкта.

Математична модель системи діагностування стану суднових систем у задачах автоматичного контролю у вигляді спостерігача за вектором параметрів систем дозволяє очікувати використання інтелектуальних систем, які забезпечать автоматичний моніторинг, прогнозування стану судна та його систем, а також формування рекомендації для пошуку та усуненню несправностей обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. KONSBERG. Standard K-Chief 600 Alarm and Monitoring System / 354760 / Rev.D March 2013 © Kongsberg Maritime AS.

2. KONSBERG. Kongsberg K-Chief 500/600 Marine Automation System Installation Manual /311956 / F March 2013 © Kongsberg Maritime AS.

3. Згуровский, М. З. Системный анализ: проблемы, методология приложения [Текст] / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 742.

4. Акимов В. А. Надежность технических систем и техногенный риск / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов. М.: Деловой экспресс, 2002. 367 с.

5. Портнягин Н. Н., Пюкке Г. А. Теория, методы и эксперименты решения задач диагностики судовых электрических средств автоматизации. СПб.: Судостроение, 2004. 162 с.

6. Тихонов А. Н. Дифференциальные уравнения. А. Н. Тихонов, Васильева А. Б., Свешников А. Г. М.: Физматлит. 2002. 232 с.

7. Вычужанин В. В. Информатизация дистанционного диагностирования состояния сложных технических систем / В. В. Вычужанин, С. Н. Коновалов. *Информатика и математические методы в моделировании*, 2016. Том 6, №1. С. 303–311.

8. Sergiy Rozhkov, Kostyantyn Kondrashov, Oksana Tereshchenkova, Maryna Falenkova. Informational expert system for minimizing the time in searching of ship electrical equipment failures. CEUR-WS.org/Vol-2845. *Information technology and interactions* (IT&I 2020), p. 418–426.

9. Sergiy Rozhkov, Kostyantyn Kondrashov, Oksana Tereshchenkova, Maryna Falenkova. Informational Expert System for Minimizing the Time in Searching of Ship Electrical Equipment Failures Proceedings of the 7th International Conference "Information Technology and Interactions" (IT&I-2020). Workshops Proceedings Kyiv, Ukraine, December 02-03, 2020. P.170–180. http://ceur-ws.org/Vol-2845/Paper_17.pdf.

10. Kashtalyan P. V., Rozhkov S. O. Mathematical and information provisions of bridge team training control systems // Electronics and Control Systems, 2019. No2(06). P.61–69. (ISSN 1990-5548) doi: 10.18372/1990-5548.60.13816.

REFERENCES

1. KONSBERG. Standard K-Chief 600 Alarm and Monitoring System / 354760 / Rev.D March 2013 © Kongsberg Maritime AS.

2. KONSBERG. Kongsberg K-Chief 500/600 Marine Automation System Installation Manual /311956 / F March 2013 © Kongsberg Maritime AS.

3. Zgurovskiyj, M. Z. Sistemnihyj analiz: problemih, metodologiya prilozheniya / M. Z. Zgurovskiyj, N. D. Pankratova. K.: Naukova dumka, 2005. – 742.

4. Akimov V. A. Nadezhnostj tekhnicheskikh sistem i tekhnogennihyj risk / V. A. Akimov, V. L. Lapin, V. M. Popov. M.: Delovoyj ehkspress, 2002. – 367 s.

5. Portnyagin N. N., Pyukke G. A. Teoriya, metodih i ehksperimentih resheniya zadach diagnostiki sudovihkh ehlektricheskikh sredstv avtomatizacii. – SPb.: Sudostroenie, 2004. 162 s.

6. Tikhonov A. N. Differencialjnihe uravneniya 4-e izd. A.N. Tikhonov, Vasiljeva A. B. Sveshnikov A. G. M.: Fizmatlit. 2002. 232 s.

7. Vihchuzhanin V. V. Informatizaciya distancionnogo diagnostirovaniya sostoyaniya slozhnihkh tekhnicheskikh sistem [Tekst] / V. V. Vihchuzhanin, S. N. Konovalov // Informatika i matematicheskie metodih v modelirovanii, 2016. – Tom 6, №1. – S. 303–311.

8. Sergiy Rozhkov, Kostyantyn Kondrashov, Oksana Tereshchenkova, Maryna Falenkova. Informational expert system for minimizing the time in searching of ship electrical equipment failures. CEUR-WS.org/Vol–2845 – Information technology and interactions (IT&I 2020), p. 418–426.

9. Sergiy Rozhkov, Kostyantyn Kondrashov, Oksana Tereshchenkova, Maryna Falenkova. Informational Expert System for Minimizing the Time in Searching of Ship Electrical Equipment Failures Proceedings of the 7th International Conference "Information Technology and Interactions" (IT&I-2020). Workshops Proceedings Kyiv, Ukraine, December 02-03, 2020. P.170-180. http://ceur-ws.org/Vol-2845/Paper_17.pdf.

10. Kashtalyan P. V., Rozhkov S. O. Mathematical and information provisions of bridge team training control systems // Electronics and Control Systems, 2019. No2(06). P. 61–69. (ISSN 1990-5548) doi: 10.18372/1990-5548.60.13816.

Рожков С. А., Кондрашов К. В., Тимофеев К. В., Бутаков И. Б., Старов М. В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО ВЕКТОРУ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

В статье рассматривается перспективный метод диагностики и автоматического контроля по вектору параметров для решения проблемы повышения эффективности эксплуатации судовой аварийно-предупредительной системы (АПС). В математической модели системы диагностирования состояния судовых систем реализован алгоритм, который позволяет обеспечить автоматический мониторинг и прогнозирование состояния судна и его систем. Реализация в системе управления дополнительной обратной связи в виде регулятора позволяет не только накапливать информацию о принятых решениях, полученных результатах и сигналах о неисправностях, но и обеспечивает сопоставимость результатов на основе диагностической информации. Использование системы поддержки принятия решений с обратной связью (СППР, англ. DSS – decision support system) в задачах автоматического контроля, как интеллектуальной системы с наблюдателем по вектору состояния, позволяет получать информацию о состоянии судовых систем в режиме реального времени и прогнозировать их будущее состояние.

Ключевые слова: *аварийно-предупредительная сигнализация, диагностирование, информационная система, надежность, эксплуатация.*

Rozhkov S. A., Kondrashov K. V., Timofeev K. V., Butakov I. B., Starov M. V. MATHEMATICAL MODEL OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC OBJECT STATE CONTROL BY THE VECTOR OF SYSTEM PARAMETERS

The article considers a promising method of diagnostics and automatic control by the vector of parameters to solve the problem of increasing the efficiency of operation of the ship's emergency warning system (APS). In the mathematical model of the system for diagnosing the state of ship systems, an algorithm is implemented that allows for automatic monitoring and forecasting of the state of the ship and its systems.

The implementation of additional feedback in the form of a controller in the control system algorithm allows not only to accumulate information about the decisions made, the results obtained, and fault signals, but also ensures the comparability of the results based on diagnostic information.

Such an implementation of the asymptotic state observer makes it possible to quickly eliminate the error associated with the initial conditions or uncontrolled perturbations. The implementation of this method is quite simple in both analog and digital algorithms. The article shows the implementation of the algorithm by the Runge-Kutta method of the first order. For the asymptotic convergence of the estimation error to zero, the observer matrix is chosen arbitrarily.

The article shows that in order to predict the state of an object, it is necessary to estimate the rate of change of the vector of object parameters, but this is quite difficult to do by estimating the state vector.

The paper also shows that it is possible to evaluate the dynamics by an equation in the state space of parameters with a matrix, however, in this case, it is necessary to single out the area in which the state vector determines a positive forecast of the system's performance.

The use of a decision support system with feedback (DSS, eng. DSS - decision support system) in automatic control tasks, as an intelligent system with an observer along the state vector, allows you to receive information about the state of ship systems in real time and predict their future state.

Keywords: *alarm system, diagnostics, information system, reliability, operation.*

Статтю прийнято
до редакції 02.11.21