

ЦІЛЕОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Галай П.М.,

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка

Сільвестров А.М., д.т.н., професор

Національний технічний університет України «КПІ»

Разработана структура целеориентированной системы и предложена методика адаптивного выбора моделей и алгоритмов идентификации диагностических параметров, а также получены условия повышения эффективности процесса диагностики.

Ключевые слова: целеориентированная система, алгоритм, диагностика, контроль.

Вступ. Проектування, виробництво і експлуатація сучасних технічних систем ставлять досить жорсткі вимоги до їх параметрів і характеристик. Це пов'язано з необхідністю високої точності здійснення технологічних процесів, великими швидкостями і маневреністю транспортних засобів і т.п. В зв'язку з цим є актуальним розроблення автоматизованих систем контролю і діагностування [1].

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Технічний контроль і діагностика в галузі автоматизації технологічних процесів розвивається в напрямку створення цілеорієнтованих систем [2, 3]. Вони характеризуються спеціалізованістю, орієнтацією на визначені і фіксовані вимоги до об'єктів, а також розмаїттям методів і засобів технічної реалізації. Для забезпечення конкурентоздатності виробленої продукції на вітчизняному і світовому ринках потрібно зменшувати час виявлення і усунення несправності.

Мета роботи. Розробити цілеорієнтовану систему діагностування, структура моделі якої змінюється в залежності від глибини пошуку дефектів, а справність об'єкта оцінюється за значеннями параметрів моделі.

Викладення матеріалів дослідження, отриманих наукових результатів. Якісну оцінку стану об'єкта можна отримати із інформації щодо правильності і якості виконання покладених на нього функцій, кількісну – за сукупністю вибраних діагностичних показників, якими можуть являтися як параметри, так і характеристики об'єкта. Якщо параметри не являються прямими діагностичними показниками, то використовують деякі узагальнені величини, зв'язані з ними за допомогою відомих співвідношень. В усіх випадках здатність системи, що діагностується, виконувати свої функції визна-

The structure of objective-oriented system is developed and the methodology of adaptive models selection and diagnostic variable identification algorithms is suggested, and also the diagnostics process efficiency increase conditions are obtained.

Key words: system is developed, algorithm, diagnostics, control.

чається деяким набором критеріїв якості, що називаються показниками працездатності. Задається показник працездатності як деякий функціонал вхідних і вихідних сигналів об'єкта:

$$W = W[x, y, T],$$

де x – вхідний сигнал;

y – вихідний сигнал;

T – часовий інтервал.

Згідно прийнятій в даній роботі концепції всі можливі технічні стани об'єкта, що діагностується, відображаються за допомогою діагностичної моделі. Це означає, що процес діагностування проводиться за два етапи. Спочатку здійснюється ідентифікація поточної діагностичної моделі, після чого на її основі приймається рішення про працездатність об'єкта. Використання моделі дозволяє виділити два класи дефектів, що приводять до порушення працездатності технічних систем. Це параметричні дефекти, що викликають не допустимі зміни параметрів діагностичної моделі об'єкта при збереженні її структури, і структурні, що призводять до не допустимих змін як параметрів, так і структури моделі.

В цій роботі для діагностики об'єкта використовується цілеорієнтована модель, структура якої змінюється в залежності від глибини пошуку дефектів, а за визначеними значеннями параметрів моделі роблять висновок про справність об'єкта. Цілеорієнтація, в цьому випадку, заключається в отриманні оптимальних за вибраним показником I ефективності діагностування моделі (Σ, b) , алгоритма оцінювання діагностичних параметрів J і алгоритма прийняття рішення щодо працездатності W . В формалізованому вигляді сукупність перелічених компонентів представлена у вигляді множини

$$\Omega = \{\Sigma, b, Opt, a, J, W, \mathbb{W}, I\},$$

де Σ – множина діагностичних моделей;

b – множина прямих діагностичних параметрів,

Opt – множина методів ідентифікації,

a – параметри методів ідентифікації,

J – множина критеріїв оцінювання прямих діагностичних показників,

W – показник працездатності,

\mathbb{W} – умови працездатності,

I – критерій якості діагностики, що складає цілеорієнтовану систему діагностування, призначену для визначення цілеорієнтованої діагностичної моделі і оцінювання її за допомогою технічного стану об'єкта. Знаходження оптимального відносно показника I набору компонент

$$\Omega^* = \{\Sigma^*, b^*, Opt^*, a^*, J^*, W^*, W^- \} = \arg \min_{\Omega} I$$

цієї системи забезпечує максимальну ефективність вирішення задач діагностування за допомогою цілеорієнтованої діагностичної моделі.

Для практичної реалізації цілеорієнтованої системи діагностики на мікропроцесорних системах, з метою скорочення затрат часу на розрахунок, застосовується фіксація деяких елементів множини Ω . На практиці, як правило, структури діагностичних моделей Σ і вигляд показника працездатності W задають, виходячи із апріорних даних про реальний об'єкт, що діагностується. На основі вимог до показника W задаються фізичні обмеження на область допустимих значень контрольованих параметрів $b \in G_b$ у вигляді умов працездатності \mathbb{W} об'єкта, що діагностується. Якщо в множині Ω виділити підмножину елементів підсистеми оцінювання прямих діагностичних показників $\Omega_0 = \{\Sigma, b, Opt, a, J\}$ і підмножину $\Omega_p = \{W, \mathbb{W}, I\}$ підсистеми прийняття рішень, то задача вибору оптимальної підмножини Ω_0^* полягає у визначенні функціонала:

$$\Omega_0^* = \{\Sigma^*, b^*, Opt^*, a^*, J^* \} = \arg \text{extr}_{b \in G_b, \Omega_0^* \in \Omega} I.$$

Розв'язується цієї задача за допомогою рідного правила (РП) $\{\Sigma_k, b_k, Opt_k, a_k, J_k\}$ відносно основного показника ефективності діагностування у вигляді

$$\begin{aligned} & \{\Sigma_0, b_0, Opt_0, a_0, J_0\} \subseteq \\ & \subseteq \{I_1, b_1, Opt_1, a_1, J_1\} \subseteq \dots \\ & \mathbf{K} \subseteq \{I_k, b_k, Opt_k, a_k, J_k\} \end{aligned}$$

$$\inf I_0 \geq \inf I_1 \geq \dots \geq \inf I_k,$$

для реалізації якого цілеорієнтована система діагностування повинна містити компонент множин, що входять до неї, і алгоритм взаємодії між ними.

Процес знаходження оптимальної множини Ω_0^* згідно принципу багатократної адаптивності може бути реалізованим у вигляді композиції двох РП:

$$\begin{cases} \{b_{kn}\}, n = 1, 2, \dots, \text{відносно } J_k, \\ \{\Sigma_k, Opt_k, a_k, J_k\}, k = 1, 2, \dots, \text{відносно } I. \end{cases}$$

Зменшення часу розрахунків досягається впорядкуванням множини $\{\Sigma, b, Opt, a, J\}$.

Враховуючи жорсткі вимоги до системного критерію реалізації системи діагностування, таке упорядкування може бути виконано за затратним принципом.

Нехай в об'єкті контролюється n параметрів. Оцінка B_i^0 кожного параметру здійснюється на основі інформації про реальні вхідні і вихідні сигнали об'єкта. Порівняння оцінок B_i^0 істинних значень параметрів з інтервалом допустимих за технічними умовами експлуатації $[b_i^-, b_i^+]$ дозволяє виявляти дефектний елемент у випадку, якщо $B_i^0 \notin [b_i^-, b_i^+]$, де b_i^-, b_i^+ – відповідно нижнє і верхнє значення параметра b_i в області працездатності G_b . Для оптимізації процесу діагностики необхідно оптимізувати послідовність і повноту контролю параметрів об'єкту. Нехай вартість контролю i -го параметра, що включає всі техніко-економічні затрати, дорівнює C_i . Тоді середні затрати на контроль всіх n параметрів об'єкта, при умові їх адекватності при різних алгоритмах оцінювання, складають

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \cdot D_j^i P(A_j^0),$$

де $P(A_j^0)$ – ймовірність події A_j^0 , яка полягає в тому, що i -й параметр знаходиться в області працездатності G_b . Оскільки контроль припиняється при виявленні будь-якого параметра, що виходить за область допустимих значень G_b , то послідовність контрольованих операцій, при яких виконуються нерівності

$$-\frac{C_1}{Q_1} < -\frac{C_2}{Q_2} < \dots < -\frac{C_n}{Q_n},$$

де $Q_i = 1 - P(A_j^0)$, забезпечує мінімізацію затрат і, відповідно, оптимальність процесу діаг-

ностики за вартісним критерієм. За прийнятим в роботі критерієм оптимальності I процесу діагностики оптимальний рівень повноти контролю, для заданої оптимальної послідовності контролю параметрів, визначається з умови обмеження часових затрат на ідентифікацію і діагностику об'єкта за допомогою цілеорієнтованої моделі.

Структурна схема цілеорієнтованої системи діагностики, що реалізує вказані вище процеси, приведена на рис. 1.

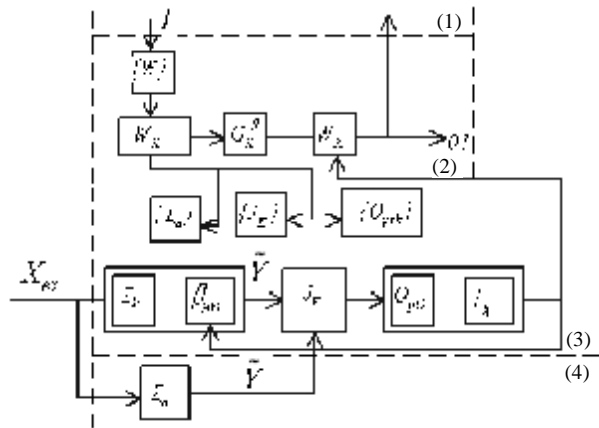


Рис. 1. Структурна схема ціле орієнтованої системи діагностики

Значення критерію верхнього рівня I в блоці (1) задається із умови мінімізації часових і вартісних затрат на процес діагностики. За значенням I в блоці (2) вибирається відповідний показник працездатності W_k із множини $\{W\}$. Цей показник визначає в блоці (3) структуру моделі Σ_k і параметри, що діагностуються b_k , із множини $\{\Sigma_k\}$, метод ідентифікації Opt_k і його параметри a_k із множини $\{Opt_k\}$, критерій ідентифікації J_k із множини $\{J_k\}$, а також область працездатності G_b , приналежність до якої обумовлює умови працездатності W^b . За вхідними X і вихідними Y, Y^b сигналами реального об'єкта Σ_∞ (блок (4)) і його моделі Σ_k відносно вибраного критерію J_k реалізується РП $\{b_{kn}\}$. Із закінченням реалізації РП інформація про оптимальний за J_k вектор параметрів b^* моделі надходить в блок (2), де він порівнюється з інтервалом допустимих значень за умовами працездатності W^b . За результатами порівняння оцінюється технічний стан об'єкта за двійковою ознакою:

1 – придатний, 0 – не придатний. Якщо в результаті діагностики виявляється несправність об'єкта, а критерій I допускає проведення подальших випробувань з більшою глибиною пошуку дефектів, то весь описаний процес повторюється аж до досягнення заданого значення I . В протилежному випадку діагностика об'єкта припиняється.

Описана структура цілеорієнтованої системи діагностики і організація взаємодії компонентів, що входять до неї, дозволяє знизити затрати на ідентифікацію на весь процес діагностики об'єкту в цілому.

Розглянемо реалізацію алгоритму на прикладі визначення зони нечутливості аналогової моделі двокаскадного електрогідроприводу (ЕГП). В якості тестових дій використовували синусоїдальні сигнали з частотою, що відповідає робочому режиму об'єкта (20 Гц), і амплітудами, що в декілька разів перевищують величину зони нечутливості (0,3 В, 0,35 В, 0,4 В). Вимірювання вихідних сигналів з (переміщення потоку $h_{шт}$ силової дросельної частини привода і переміщення штока керуючої частини ЕГП $y_{ЕГП}$) здійснювали за час одного періоду вхідного сигналу після пропуску одного періоду ($\approx 40мс$), що необхідно для завершення перехідних процесів в моделі привода. При опрацюванні інформації для кожної i -ої амплітуди вхідного сигналу визначали амплітуду A_i^0 першої гармоніки вихідного сигналу $h_{шт}$ і амплітуду A_i^0 першої гармоніки сигналу $y_{ЕГП}$. Амплітуди перших гармонік сигналів визначали шляхом розрахунку модуля дискретного перетворення Фур'є. За методом найменших квадратів визначали коефіцієнти b_1 і b_0 залежності

$$A_i^0 = b_1 A_i^0 + b_0 :$$

$$b_1 = \frac{\sum (A_i - \bar{A})(A_{li} - A_i)}{\sum (A_i - \bar{A})^2},$$

$$b_0 = \frac{\sum A_{li} \sum A_i^2 - \sum A_i \sum A_{li}}{n \sum A_i^2 - (\sum A_i)^2}.$$

Складання даних під знаком Σ проводиться за трьома точками

$$\bar{A} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 A_i, \quad \bar{A} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 A_{li},$$

де A_i – амплітуда першої гармоніки сигналу $y_{ЕГП}$;

A_i – амплітуда першої гармоніки сигналу
 $h_{шт}$;
 $i = 1, 2, 3$.

На основі отриманих співвідношень величину зони нечутливості визначали із співвідношення $C = \frac{pb_0}{2b_1}$. Відносну величину зони нечутливості визначали за формулою:

$$C\% = \frac{|C|}{|y_{\max}^+| + |y_{\max}^-|} \cdot 100\%,$$

де y_{\max}^+ , y_{\max}^- – величини сигналів, що відповідають максимальним швидкостям руху штока і визначаються в режимі вимірювання максимальної швидкості його руху.

Вимірювали зону нечутливості зовнішнього контуру аналогової моделі ЕГП при різноманітних параметрах вхідного сигналу. Середня відносна похибка вимірювань складала $\approx 1\%$, що підтверджує можливість практичної реалізації алгоритму. Отримані результати також підтверджують висновки про зменшення похибки вимірювань шляхом раціонального підбору амплітуд тестуючих сигналів.

Цифрове моделювання алгоритму визначення зони нечутливості внутрішнього і зовнішнього контурів моделі ЕГП має похибку на порядок меншу, але потрібно вимірювати змінні після закінчення перехідного процесу.

Проведені дослідження алгоритма визначення зони нечутливості підтверджують його високу точність, швидкодію, перешкодозахищеність, і показують доцільність його використання для дослідження різноманітних динамічних об'єктів, що включають статичні нелінійності описаного класу.

Динамічні властивості приводу при замкнених зворотних зв'язках для вхідних сигналів, що не призводять до виходу характеристик із лінійної зони обмежень швидкості, описуються коливальною ланкою з передаточною функцією:

$$W(p) = \frac{h(p)}{X_{BX}(p)} = \frac{K}{T_{ЕГП}^2 p^2 + 2T_{ЕГП}x_{ЕГП}p + 1},$$

де $h(p)$, $X_{BX}(p)$ – зображення за Лапласом вхідного і вихідного сигналів;

$T_{ЕГП}$ і $x_{ЕГП}$ – відповідно постійна часу і декремент затухання приводу. В режимі визначення динамічних характеристик оцінювалися величини K , $T_{ЕГП}$, $x_{ЕГП}$. В якості тестових сигналів використовувалися бінарний шматко-

во-полярний сигнал і синусоїдальні сигнали двох частот. За результатами вимірів вхідного і вихідного сигналів визначали в усталеному режимі коефіцієнти підсилення приводу в діапазоні амплітуд тестових сигналів

$$K = \frac{h^+ - h^-}{2X_{BX}},$$

де h^+ – усталений вихідний сигнал додатної полярності,

h^- – усталений вихідний сигнал від'ємної полярності,

X_{BX} – амплітуда прямокутного вхідного сигналу.

Для визначення параметрів T і x на вхід приводу подавали синусоїдальні сигнали. Після досягнення усталеного режиму для кожної із частот ω вимірювали значення вихідного сигналу за один період. При опрацюванні результатів вимірів визначали уявну Q і дійсну P частини комплексного зображення вихідного сигналу за формулами дискретного перетворення Фур'є:

$$P = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} h_i \cdot \sin \frac{2p}{N} i,$$

$$Q = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} h_i \cdot \cos \frac{2p}{N} i,$$

де N – кількість відліків;

h_i – i -й відлік вихідного сигналу. Отримані величини використовували для обчислення параметрів коливальної ланки. При визначенні динамічних параметрів виходили із наступних залежностей для сигналів з частотами ω_1 і ω_2 :

$$\frac{P_1}{Q_1} = \frac{1 - T^2 \omega_1^2}{2xT\omega_1}; \quad \frac{P_2}{Q_2} = \frac{1 - T^2 \omega_2^2}{2xT\omega_2},$$

де $\omega_2 = 2\omega_1$. Нехай $z = T\omega_1$. Тоді отримаємо систему двох рівнянь з невідомими z і x :

$$\begin{cases} \frac{P_1}{Q_1} = \frac{1 - z^2}{2xz}, \\ \frac{P_2}{Q_2} = \frac{1 - 4z^2}{4xz}. \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге, після не складних перетворень отримаємо

$$z^2 = \frac{0.5A_1 - A_2}{2A_1 - A_2},$$

де $A_1 = \frac{P_1}{Q_1}$; $A_2 = \frac{P_2}{Q_2}$. Звідки постійна часу T дорівнює:

$$T = \frac{1}{\omega_1} \sqrt{\frac{0.5A_1 - A_2}{2A_1 - A_2}}$$

Із приведеного співвідношення за результатами вимірів A_1 і A_2 визначали $T_{ЕГП}$. Фактично для визначення постійної часу приводу $T_{ЕГП}$ використовували експериментально отримані дві точки фазочастотної характеристики. Ці точки вибирали таким чином, щоб резонансна частота системи знаходилась між ними. За цими точками визначали частоту, якій відповідає кут зсуву фази, що дорівнює $-\frac{\rho}{2}$.

Використання для ідентифікації фазочастотних характеристик має ряд переваг перед використанням амплітудо-частотних характеристик. До числа таких переваг слід віднести високу перешкодостійкість фазових методів і їх нечутливість до дрейфу коефіцієнта передачі системи. Враховуючи, що уявна частина оберненої передаточної функції ланки другого порядку дорівнює

$$Q\left(\frac{1}{W(p)}\right) = \frac{2Twx}{K},$$

отримали вираз, який використовували для оцінювання декременту затухання приводу:

$$x = \frac{KA}{2T\omega_i} \cdot \frac{Q_i}{P_i^2 + Q_i^2}.$$

При оцінюванні $x_{ЕГП}$, наведений вище вираз використовували для тієї із двох частот (ω_1 або ω_2), для якої значення $|Q_i|$ являється

меншим. Тобто, використовували результати для тієї із частот зондування, яка ближче відстоїть від частоти резонансу приводу. Досліджувана аналогова модель кермового приводу в режимі визначення динамічних параметрів при вхідних гармонічних сигналах з амплітудою $A = 0.5B$ і частотами $\omega_1 = 80c^{-1}$ і $\omega_2 = 160c^{-1}$.

Висновки. Отримані результати підтверджують працездатність запропонованого алгоритму і адекватність діагностичної моделі реальному ЕГП. Дослідження продовжуються в напрямку технічної реалізації цілеорієнтованої системи ідентифікації для технічної діагностики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушак С.В. Аналіз корпоративних інформаційних систем як об'єктів діагностування / С.В. Глушак // Вісник технологічного університету Поділля. – Частина 1. Том 1. – Хмельницький, 2004. – С. 68–71.
2. Байда Н.П. Микропроцессорные системы элементарного диагностирования РЭА / Н.П. Байда – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
3. Локазюк В.М., Савченко Ю.Г. Надійність, контроль, діагностування і модернізація ПК: посібник для вузів / В.М. Локазюк, Ю.Г. Савченко. За ред. В.М. Локазюка. – К.: Вид. центр «Академія», 2004. – 375 с.

Галай П.М., аспірант Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка.

Сільвестров А.М., д.т.н., професор Національного технічного університету України «КПІ».