

## V-МОДЕЛЬ ПРОЦЕДУРИ ДІАГНОСТУВАННЯ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

О.О. Фомін

Одеський національний політехнічний університет,  
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: aleksandr.fomin@gmail.com

Розглядається клас задач непрямого контролю і діагностики складних неперервних нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи. Ці задачі відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає в переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою здобуття нових знань і прийняття рішень в умовах істотної неповноти і апріорної невизначеності інформації. Метою роботи є вирішення задачі забезпечення універсальності діагностичної процедури за рахунок розробки узагальненої моделі процедури діагностування на основі організації взаємодії між підсистемами автоматизованих систем діагностування, врахування впливу зовнішнього середовища, вибору оптимальних режимів функціонування для створення ефективних інструментальних засобів діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації. Запропоновано математичну модель процесу діагностування у вигляді кінцевого автомата, що реалізує деяке відображення множини слів вхідного алфавіту в множину слів вихідного алфавіту. З метою побудови універсальної процедури діагностування складних об'єктів діагностування різної фізичної природи визначено ключові етапи перетворення діагностичної інформації (побудови класифікатора) та етапи верифікації отриманих моделей на кожному рівні. Запропоновано V-модель процедури діагностування складних об'єктів діагностування різної фізичної природи в умовах апріорної невизначеності. Для побудови алгоритму функціонування автоматизованих систем діагностування виділено узагальнені сутності діагностичного процесу, на основі яких будується алгоритм діагностування нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи в умовах неповної апріорної інформації

**Ключові слова:** діагностика безперервних систем, інформаційні моделі, діагностичні моделі, ідентифікація, класифікація, автоматизовані системи діагностування

### Вступ

Розвиток науки, безпрецедентний прогрес інформаційних технологій, глобалізація економіки, інтеграційні процеси в громадянському суспільстві викликають потребу в створенні все більш досконалих технічних, енергетичних, економічних та інших систем. У відповідь на вимоги розвитку ці системи постійно ускладнюються: в складі систем з'являється більше взаємодіючих елементів, для опису поведінки використовуються більш складні моделі.

Проблема постійного зростання складності систем, що створюються людьми, істотно загострюється в умовах високої швидкості появи і освоєння нових технологій. Крім загострення проблеми складності, швидкість технологічних змін ставить перед творцями систем і інші завдання, зокрема, змушує суттєво, іноді неодноразово, продовжувати життєвий цикл систем, вже введених в експлуатацію [1].

Великий інтерес представляють задачі непрямого контролю і діагностики складних неперервних нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи. Ці задачі відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає в переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою здобуття нових знань і прийняття рішень в умовах істотної неповноти і апріорної невизначеності

інформації.

На сьогоднішній день існує добре розвинута теоретична база побудови систем технічної діагностики [2]. Запропоновано багато методів побудови автоматизованих систем діагностування (АСД), що інтегрують в собі отримання первинного опису об'єкту діагностування (ОД) (ідентифікацію ОД) [3, 4], побудову діагностичних просторів (редукцію діагностичних моделей) [5-6] і побудову визначальних правил оптимальної класифікації (машинне навчання) [7-10]. Але досі не існує ефективної технології побудови систем технічної діагностики, яка б надійно вирішувала задачі діагностування ОД різної фізичної природи в умовах апріорної невизначеності.

Використання існуючих АСД для рішення подібних задач обмежується дією протиріччя: з одного боку, експлуатація у широкому діапазоні зовнішніх умов, в умовах зміни області використання або інших режимах функціонування, що обумовлює вимоги до універсальності діагностичної процедури – адаптованості до нових функціональних вимог, а з іншого боку – відсутність застосування в АСД універсальних інформаційних моделей як первинного джерела діагностичних даних.

Розв'язання цього протиріччя є перспективною і актуальною науково-технічною задачею, яка може бути вирішена шляхом розробки узагальненої моделі процедури діагностування об'єктів різної фізичної природи в умовах неповної апріорної інформації.

Зазначені вище проблеми визначають актуальність роботи, зумовлюють необхідність розробки методологічних принципів побудови АСД в умовах неповної апріорної інформації і створення ефективної ІТ вирішення задач непрямого контролю і діагностики в автоматизованих системах управління якістю ОД різної фізичної природи.

## **Мета роботи**

*Метою* роботи є вирішення науково-технічної проблеми забезпечення універсальності діагностичної процедури за рахунок розробки узагальненої моделі процедури діагностування на основі організації взаємодії між підсистемами АСД, врахування впливу зовнішнього середовища, вибору оптимальних режимів функціонування для створення ефективних інструментальних засобів діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації.

Під ефективністю інструментальних засобів в даній роботі розуміється комплексний критерій, що враховує показники достовірності рішень і часу їх пошуку.

## **Основна частина**

Розглянемо докладніше модель процедури діагностування як одну з найважливіших складових частин інформаційного забезпечення діяльності. Модель процедури діагностування – особливим образом організована сукупність інформації, що надається операторам на автоматизованих робочих місцях АСД.

Інформація стану зазвичай являє собою сукупність інформаційних моделей взаємодіючих об'єктів, які відтворюються за допомогою засобів відображення інформації [11].

Відповідно до ГОСТ 21033-75 інформаційна модель (ІМ) є організоване відповідно до певної системи правил відображення станів предметів праці, системи «людина–машина», зовнішнього середовища і способів впливу на них, а засіб відображення інформації є елемент робочого місця людини-оператора, призначений для формування інформаційної моделі. Таким чином, ІМ розглядається як сукупність даних про об'єкти (явища, процеси), що надаються людині-оператору. Безпосередньо

інформацію оператор сприймає в візуальній (понад 90%) і акустичній формах за допомогою засобів відображення інформації.

ІМ може бути описана з морфологічної, функціональної та організаційної точок зору. Морфологічний опис дає уявлення про будову досліджуваної системи, інформаційний – організацію, а функціональний – призначення.

Для складання функціонального опису ІМ необхідно провести аналіз основних процесів прийому і переробки інформації людиною в АСУ. При цьому оцінка якості ІМ повинна вестися диференційовано в залежності від поставлених завдань.

У загальному вигляді інформаційну модель процесу діагностування можна уявити як кінцевий автомат у вигляді 5-компонентного кортежу:  $M = \langle A, X, Y, d, l \rangle$ , де

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  – алфавіт станів – множина значень, в яких може перебувати система діагностування, що проектується;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_f\}$  – алфавіт вхідних значень – множина значень, які можуть надходити на вхід системи діагностування;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_g\}$  – алфавіт вихідних значень – множина значень (діагнозів), які можуть бути встановлені на виході системи діагностування;

$d: A \cdot X \rightarrow A$  – функція переходів:  $a(t+1) = d(x(t), a(t))$ . Функція переходів визначає, в який стан  $a(t+1)$  перейде система діагностування під впливом вхідного сигналу  $x(t)$ , у випадку, якщо в поточний момент часу автомат знаходиться у стані  $a(t)$ ;

$l: A \cdot X \rightarrow Y$  – функція виходів:  $y(t) = l(a(t), x(t))$ . Функція виходів визначає, яке вихідне значення  $y(t)$  буде встановлено на виході системи діагностування, виходячи з вхідного значення  $x(t)$  і поточного стану  $a(t)$ .

Під алфавітом тут слід розуміти непорожню множину попарно різних символів.

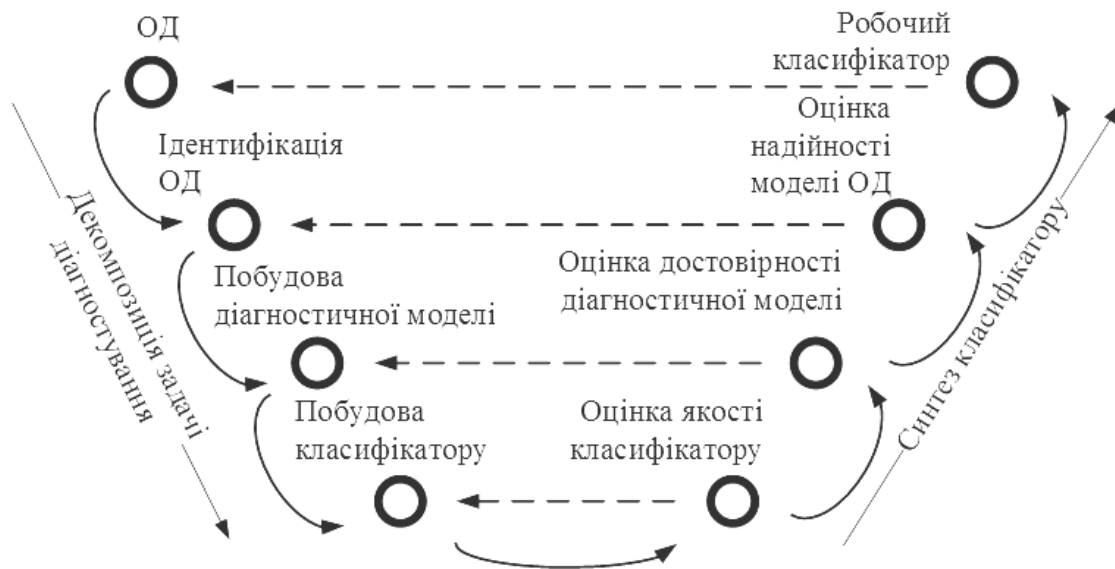
Модель працює в дискретному часі, що приймає цілі невід'ємні значення  $t = 0, 1, 2, \dots$ . У кожен момент  $t$  дискретного часу АСД знаходиться в деякому стані  $a(t)$  з множини станів системи. У момент  $t$ , будучи в стані  $a(t)$ , автомат здатний сприйняти на вході букву вхідного алфавіту  $X(t) \in X$ . Відповідно до функції виходів він видасть в той же момент часу  $t$  букву вихідного алфавіту  $y(t) = l(a(t), z(t))$  і відповідно до функції переходів перейде в наступний стан  $a(t+1) = d[a(t), x(t)]$ ,  $a(t) \in A$ ,  $y(t) \in Y$ .

Таким чином, система діагностування реалізує деяке відображення множини слів вхідного алфавіту  $X$  в множину слів вихідного алфавіту  $Y$ . Тобто якщо на вхід автомата, встановленого в початковий стан  $a_1$ , подавати буква за буквою деяку послідовність літер вхідного алфавіту  $x(0), x(1), \dots$  – вхідне слово, то на виході автомата будуть послідовно з'являтися літери вихідного алфавіту  $y(0), y(1), \dots$  – вихідне слово.

Поняття стану в моделі системи діагностування введено в зв'язку з тим, що часто виникає необхідність в описі поведінки систем, виходи яких залежать не тільки від стану входів в даний момент часу, але і від деякої передісторії, тобто від сигналів, які надходили на входи системи раніше.

З метою побудови універсальної процедури діагностування складних ОД різної фізичної природи визначено ключові етапи перетворення діагностичної інформації (побудови класифікатора) та етапи верифікації отриманих моделей на кожному рівні. Запропоновано V-модель процедури діагностування (рис. 1) складних ОД різної фізичної природи в умовах апріорної невизначеності.

Основний принцип V-подібної моделі полягає в тому, що деталізація класифікатора станів зростає при русі зліва направо, одночасно з плином часу. Ітерації в проєкті виробляються по горизонталі, між лівою і правою сторонами моделі.



**Рис. 1.** V-модель процедури діагностування

Стосовно до розробки АСД V-модель – варіація каскадної моделі, в якій завдання розробки системи йдуть зверху вниз по лівій стороні моделі, а завдання оцінки якості – вгору по її правій стороні. Усередині V-моделі виділяються горизонтальні етапи, що показують, як результати кожного етапу розробки впливають на розвиток системи оцінки якості на кожному з етапів. Модель базується на тому, що якість розроблюваної АСД ґрунтується, перш за все, на вимогах до якості класифікатора, достовірності діагностичної моделі ОД, надійності інформаційної моделі ОД в умовах неповної апріорної інформації, розташованих у вигляді вихідного каскаду.

Головні переваги запропонованої V-моделі процесу діагностування:

- V-модель робить процес діагностування прозорим і підвищує якість контролю над розробкою АСД шляхом стандартизації проміжних цілей, опису відповідних їм результатів і відповідальних осіб. Це дозволяє виявляти відхилення в процесі діагностування та ризики на ранніх стадіях і покращує якість управління процесом розробки АСД, зменшуючи ризики;

- V-модель дозволяє досягнути підвищення якості АСД: проміжні результати можуть бути перевірені на ранніх стадіях. Універсальне документування полегшує читаність, зрозумілість і перевірюваність;

- Зменшення загальної вартості проекту: ресурси на розробку, виробництво, управління і підтримку можуть бути заздалегідь прораховані і проконтрольовані. Отримувані результати також універсальні і легко прогножуються;

- Підвищення якості комунікації між учасниками проекту: універсальний опис всіх елементів і умов полегшує взаєморозуміння всіх учасників проекту. Таким чином, зменшуються неточності в розумінні між користувачем, замовником і розробником.

Для демонстрації побудови діагностичної процедури за V-моделлю обрано клас складних нелінійні динамічних об'єктів. Задачі непрямого контролю і діагностики нелінійні динамічних об'єктів різної фізичної природи відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає в переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою здобуття нових знань і прийняття рішень в умовах істотної неповноти і апріорної невизначеності інформації. Для побудови алгоритму функціонування АСД, в даному випадку, виділено наступні сутності діагностичного процесу, які взаємодіють між собою в означеному процесі діагностування:

- первинна (інформаційна) модель ОД;
- вторинна (діагностична) модель ОД;

– вирішальне правило (класифікатор).

На базі запропонованої V-моделі та виділених сутностей діагностичного процесу розроблено алгоритм функціонування АСД, який наведено нижче (табл.1).

**Таблиця 1.**

Алгоритм функціонування АСД на базі V-моделі та виділених сутностей діагностичного процесу

| Етап |   | Опис  |
|------|---|---|
| №    | Назва                                     |   |
| 1.   | Ідентифікація                             | <i>Мета:</i> отримати інформаційну модель ОД<br><i>Вхід:</i> тестовий сигнал<br><i>Модель:</i> непараметрична інтегральна модель<br><i>Вихід:</i> інформаційна модель ОД у вигляді інтегростепеневому ряду  |
| 2.   | Побудова діагностичної моделі             | <i>Мета:</i> отримати діагностичну модель ОД<br><i>Вхід:</i> інтегростепеневий ряд<br><i>Модель:</i> дискретне перетворення інтегростепеневому ряду<br><i>Вихід:</i> діагностична модель у вигляді вектору ознак  |
| 3.   | Побудова вирішального правила             | <i>Мета:</i> побудувати класифікатор станів ОД<br><i>Вхід:</i> навчальна вибірка на основі вектору ознак<br><i>Модель:</i> нейронна мережа / статистична<br><i>Вихід:</i> вирішальне правило у вигляді матриці вагових коефіцієнтів / полінома  |
| 4.   | Оцінка параметрів класифікатора           | <i>Мета:</i> визначення параметрів класифікатора<br><i>Вхід:</i> навчальна вибірка на основі вектору ознак<br><i>Модель:</i> експериментальна оцінка швидкодії, обчислювальної складності, точності<br><i>Вихід:</i> параметри класифікатора: швидкодія, обчислювальна складність, точність                       |
| 5.   | Оцінка параметрів діагностичної моделі ОД | <i>Мета:</i> оцінити якість діагностичної моделі<br><i>Вхід:</i> екзаменаційна вибірка на основі вектору ознак<br><i>Модель:</i> вираз для достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності<br><i>Вихід:</i> значення достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності                        |
| 6.   | Оцінка параметрів інформаційної моделі ОД | <i>Мета:</i> оцінити якість інформаційної моделі<br><i>Вхід:</i> екзаменаційна вибірка з додаванням шумів різного рівня<br><i>Модель:</i> вираз для достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності<br><i>Вихід:</i> значення достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності при дії завад |

## Висновки

В роботі здійснено спробу подальшого розвитку теорії діагностування складних об'єктів контролю типу «чорний ящик» шляхом розробки V-моделі процедури

діагностування, що дозволяє зробити процес діагностування придатним для використання в умовах апріорної невизначеності.

Запропонована модельно-орієнтована інформаційна технологія модельної діагностики неперервних динамічних об'єктів вирішує актуальну науково-технічну проблему забезпечення універсальності і підвищення надійності діагностики під час створення новітніх автоматизованих систем діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації.

## Список літератури

1. Батоврин, В.К. Стандарты системной инженерии: серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации» / В.К. Батоврин; под ред. М.С. Липецкой, К.А. Ивановой. — СПб., 2012. — Вып. 4. — 64 с.
2. Korbicz J. & Koscielny J.M., (eds). Modeling, Diagnostics and Process Control: Implementation in the DiaSter System. Springer: Berlin, 2010.
3. Mmgalski M., Korbicz J. Robust fault diagnosis via parameter identification of dynamical systems. European Control Conference, ECC 2009. 2014.
4. Simani, S. Dynamic system identification and model-based fault diagnosis of an industrial gas turbine prototype / S. Simani, C. Fantuzzi // Mechatronics, July, 2006. — Vol.16. Is.6. — Pp. 341-363.
5. Pazera, M., Korbicz, J. A process fault estimation strategy for non-linear dynamic systems. Journal of Physics: Conf. Series 783, 2017.
6. Tang. H., Liao, Y. H., Cao, J. Y., Xie. H. Fault Diagnosis Approach Based on Volterra Models. Mechanical Systems and Signal Processing, 2010. — Vol. 24., — Pp. 1099-1113.
7. Fomin A., Pavlenko V. Construction of diagnostic features space using Volterra kernels moments. Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). 2015 20th International Conference: Miedzdroje, Poland, 24-27 Aug. 2015. — Pp. 1022-1027.
8. Chen, W. Integrated design of observer based fault detection for a class of uncertain nonlinear systems / W. Chen, A. Khan, M. Abid, S. Ding // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. 2011. — 21 (3). — Pp. 423-430.
9. Pavlenko, V. Technology for Data Acquisition in Diagnosis Processes By Means of the Identification Using Models Volterra / V. Pavlenko, O. Fomin, V. Ilyin // Proc. of the 5th IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2009), Rende (Cosenza), Italy, 2009. — Pp. 327-332.
10. Hao Tang, Liao Y.H., Cao J.Y., Hang Xie. Fault diagnosis approach based on Volterra models. Mechanical Systems and Signal Processing, May, 2010. — Vol. 24. Is.4. — Pp. 1099-1113.
11. Козак, Ю.А. Принципы и методы создания информационных моделей в автоматизированных системах управления / Ю.А. Козак, Е.Ю. Орлова, Д.Ю. Кучерявый. — Труды Одесского политехнического университета, 2003. — Вып.1. — С. 135 – 139.

## V-МОДЕЛЬ ПРОЦЕДУРЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.А. Фомин

Одесский национальный политехнический университет,  
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: aleksandr.fomin@gmail.com

Рассматривается класс задач косвенного контроля и диагностики сложных непрерывных нелинейных динамических объектов различной физической природы. Эти задачи относятся к классу задач индуктивного моделирования, суть которых заключается в переходе от эмпирической информации в математической модели с целью получения новых знаний и принятия решений в условиях существенной неполноты и апріорной неопределенности информации. Целью работы является решение задачи обеспечения универсальности диагностической процедуры за счет разработки обобщенной модели процедуры диагностирования на основе организации взаимодействия между подсистемами автоматизированных систем

діагностування, урахування впливу зовнішнього середовища, вибору оптимальних режимів функціонування для створення ефективних інструментальних засобів діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації. Представлено математичну модель процесу діагностування в формі кінцевого автомата, що реалізує певне відображення множини слів вхідного алфавіта в множину слів вихідного алфавіта. З метою побудови універсальної процедури діагностування складних об'єктів різної фізичної природи визначено ключові етапи перетворення діагностичної інформації (побудови класифікатора) і етапи верифікації отриманих моделей на кожному рівні. Представлено V-модель процедури діагностування складних об'єктів різної фізичної природи в умовах апріорної невизначеності. Для побудови алгоритму функціонування автоматизованих систем діагностування виділено загальні сутності діагностичного процесу, на основі яких будується алгоритм діагностування нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи в умовах неповної апріорної інформації.

**Ключові слова:** діагностика неперервних систем, інформаційні моделі, діагностичні моделі, ідентифікація, класифікація, автоматизованих систем діагностування

## MODEL-ORIENTED INFORMATION TECHNOLOGY OF DIAGNOSTICATION OF VAT IN THE CONDITIONS OF APRILINE INFORMATION INFRASTRUCTURE

O.O. Fomin

Odesa National Polytechnic University,  
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: aleksandr.fomin@gmail.com

The class of problems of indirect control and diagnostics of complex continuous nonlinear dynamic objects of different physical nature is considered. These tasks relate to the class of problems of inductive modeling, the essence of which is the transition from empirical information to a mathematical model in order to obtain new knowledge and decision making in conditions of material incompleteness and apriline uncertainty of information. The purpose of the work is to solve the problem of ensuring the universality of the diagnostic procedure by developing a generalized model of diagnostic procedure based on the organization of interaction between subsystems of automated diagnostic systems, taking into account the influence of the external environment, the choice of optimal modes of functioning for the creation of effective instrumental means of diagnosing objects of different nature in conditions of incomplete a priori information. The mathematical model of the diagnosing process in the form of a finite automaton, which realizes some mapping of the plural of words of the input alphabet into the set of words of the original alphabet, is proposed. In order to construct a universal diagnostic procedure for complex objects of diagnosing different physical nature, the key stages of the transformation of diagnostic information (constructing a classifier) and the stages of verification of the obtained models at each level have been determined. The V-model of the procedure for diagnosing complex objects of diagnostics of different physical nature under a priori uncertainty conditions is proposed. To construct the algorithm of the functioning of automated diagnostic systems, the generalized essence of the diagnostic process, on the basis of which the algorithm of diagnosing nonlinear dynamic objects of different physical nature under the conditions of incomplete apriline information is allocated.

**Keywords:** diagnostics of continuous systems, information models, diagnostic models, identification, classification, automated diagnostic systems