УДК 004.93’11:004.942

Фомін О.О.
Одеський національний політехнічний університет

МОДЕЛЬНО ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ НДС В УМОВАХ НЕПОВНОЇ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Вирішується проблема забезпечення універсальності й підвищення надійності діагностичної процедури на основі побудови інтегральних нелінійних динамічних моделей і методів їх ідентифікації для створення ефективних інструментальних засобів інформаційної технології діагностування об’єктів різної природи.

Запропонована V-модель процедури діагностування, на основі якої побудовано модельно орієнтовану інформаційну технологію діагностування нелінійних динамічних об’єктів в умовах апріорної невизначеності.

Ключові слова: *інформаційні технології, діагностика неперервних систем, діагностичні моделі, багатомірні вагові функції, ідентифікація, класифікація.*

Постановка проблеми. Важливою задачею в галузі інформаційних технологій (ІТ) є цілеспрямоване управління поведінкою складних динамічних об’єктів і систем, зокрема й промислових, біологічних і господарських. Зростання складності сучасних об’єктів діагностування (далі – ОД), збільшення джерел інформації, експлуатація в широкому діапазоні зовнішніх умов зумовлює підвищені вимоги до точності й надійності рішень з управління та діагностування в умовах істотної неповноти й апріорної невизначеності інформації. Це призводить до проблеми розроблення нових ефективних методів математичного забезпечення систем отримання й оброблення діагностичної інформації (далі – ДІ), які б дозволили забезпечити необхідні вимоги до точності й надійності рішень з управління й автоматизувати процес діагностування ОД. При цьому надійність автоматизованих систем діагностування (далі – АСД) визначається властивостями об’єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції.

Значне зростання продуктивності обчислень і зниження вартості сучасних багатоядерних процесорів дозволяє істотно підвищити ефективність АСД і розширити галузі застосування ІТ-контролю й діагностики, однак на практиці це не відбувається. Використання наявних АСД обмежується їхньою недостатньою надійністю й універсальністю, що зумовлено дією комплексу протиріч: з одного боку, схожістю розв’язуваних задач в АСД різного прикладного застосування, а з іншого – відсутністю застосування універсальних інформаційних моделей як первинного джерела даних для побудови діагностичних просторів вторинних ознак; великою кількістю теоретичних напрацювань і ІТ в галузі оброблення ДІ, відсутністю методологічних основ побудови АСД в умовах неповної апріорної інформації, що не дозволяє проводити їх цілеспрямований синтез і порівняльну оцінку отриманих варіантів; зростаючими потребами в розширенні сфери практичних застосувань АСД й обмеженими можливостями традиційних підходів до створення АСД за універсальністю та надійністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині існує добре розвинута теоретична база побудови систем технічної діагностики [1]. Запропоновано багато методів побудови АСД, що інтегрують у собі отримання первинного опису ОД (ідентифікацію ОД) [2; 3], побудову діагностичних просторів (редукцію діагностичних моделей) [4–7] і побудову визначальних правил оптимальної класифікації (машинне навчання) [8; 9]. Але й досі немає ефективної технології побудови систем технічної діагностики неперервних динамічних ОД, яка б надійно вирішувала задачі діагностування в умовах апріорної невизначеності.

Зазначені вище проблеми визначають актуальність роботи, зумовлюють необхідність розроблення методологічних принципів побудови

АСД в умовах неповної апріорної інформації й створення ефективної ІТ вирішення задач непрямого контролю й діагностики в автоматизованих системах управління якістю ОД різної фізичної природи.

Постановка проблеми. Важливою задачею в галузі інформаційних технологій (ІТ) є цілеспрямоване управління поведінкою складних динамічних об'єктів і систем, зокрема й промислових, біологічних і господарських. Зростання складності сучасних об'єктів діагностування (далі – ОД), збільшення джерел інформації, експлуатація в широкому діапазоні зовнішніх умов зумовлює підвищені вимоги до точності й надійності рішень з управління та діагностування в умовах істотної неповноти й апріорної невизначеності інформації. Це призводить до проблеми розроблення нових ефективних методів математичного забезпечення систем отримання й оброблення діагностичної інформації (далі – ДІ), які б дозволили забезпечити необхідні вимоги до точності й надійності рішень з управління й автоматизувати процес діагностування ОД. При цьому надійність автоматизованих систем діагностування (далі – АСД) визначається властивостями об'єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції.

Значне зростання продуктивності обчислень і зниження вартості сучасних багатоядерних процесорів дозволяє істотно підвищити ефективність АСД і розширити галузі застосування ІТ-контролю й діагностики, однак на практиці це не відбувається. Використання наявних АСД обмежується їхньою недостатньою надійністю й універсальністю, що зумовлено дією комплексу протиріч: з одного боку, схожістю розв'язуваних задач в АСД різного прикладного застосування, а з іншого – відсутністю застосування універсальних інформаційних моделей як первинного джерела даних для побудови діагностичних просторів вторинних ознак; великою кількістю теоретичних напрацювань і ІТ в галузі оброблення ДІ, відсутністю методологічних основ побудови АСД в умовах неповної апріорної інформації, що не дозволяє проводити їх цілеспрямований синтез і порівняльну оцінку отриманих варіантів; зростаючими потребами в розширенні сфери практичних застосувань АСД й обмеженими можливостями традиційних підходів до створення АСД за універсальністю та надійністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині існує добре розвинута теоретична база побудови систем технічної діагностики [1]. Запропоновано багато методів побудови АСД, що інтегрують у собі отримання первинного опису ОД (ідентифікацію ОД) [2; 3], побудову діагностичних просторів (редукцію діагностичних моделей) [4–7] і побудову визначальних правил оптимальної класифікації (машинне навчання) [8; 9]. Але й досі немає ефективної технології побудови систем технічної діагностики неперервних динамічних ОД, яка б надійно вирішувала задачі діагностування в умовах апріорної невизначеності.

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

Постановка завдання. Метою роботи є вирішення проблеми забезпечення універсальності й підвищення надійності діагностичної процедури на основі побудови інтегральних нелінійних динамічних моделей і методів їх ідентифікації для створення ефективних інструментальних засобів інформаційної технології діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації.

Під ефективністю інструментальних засобів треба розуміти підвищення точності рішень та скорочення часу на їх пошук.

Виклад основного матеріалу дослідження. У результаті аналізу й класифікації методів діагностування встановлено, що наразі в технічній діагностиці розвивається напрям, заснований на відновленні моделі ОД (модельна діагностика). При цьому зазвичай передбачається, що несправності змінюють тільки параметри моделі об'єкта, які під час діагностування оцінюються методами параметричної ідентифікації. Однак часто дефекти призводять до зміни не тільки параметрів моделі об'єкта, але й її структури, що зумовлює застосування методів непараметричної ідентифікації для побудови математичної моделі ОД на основі даних експерименту «вхід – вихід» [10].

За результатами проведеного аналізу визначено, що відомі моделі діагностування недостатньою мірою враховують основні особливості ОД (нелінійні та динамічні характеристики), тому не можуть забезпечити універсальність діагностичної процедури. Так, наявні методи модельної діагностики, засновані на використанні динамічних характеристик, обмежуються тільки лінійними моделями, а методики, засновані на обліку

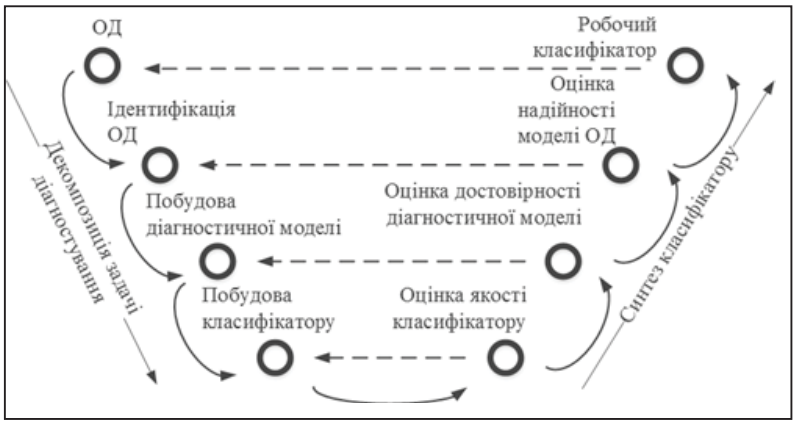

Рис. 1. V-модель процедури діагностування

ефектів нелінійності, використовують інформацію тільки про властивості статичних характеристик. Реальні об'єкти, як правило, одночасно володіють і нелінійними, і динамічними властивостями. Тому як опис ОД невідомої структури доцільно використовувати нелінійні непараметричні динамічні моделі.

Зроблено висновок, що для вирішення проблеми забезпечення універсальності діагностичної процедури й підвищення надійності діагностування неперервних нелінійних динамічних об'єктів різної природи доцільно використовувати непараметричні інтегральні моделі на основі степеневих рядів Вольтерра, які описують нелінійні та динамічні властивості ОД у вигляді послідовності інваріантних до виду вхідного сигналу БВФ.

Однак наявні прикладні алгоритми діагностування НДС на основі модельної діагностики все ще не використовують повною мірою можливості математичного апарату. Це зумовлено низкою причин, найбільш важливими з яких є суттєвий вплив похибок вимірювань і неповна апріорна визначеність ОД, що обмежує застосування алгоритмів у реальних умовах; відсутність універсальної методології вирішення задач діагностики складних неперервних систем різної фізичної природи, недостатня розвиненість програмно-алгоритмічного забезпечення задач ідентифікації та діагностики НДС.

Під час побудови діагностичної моделі виділяють три рівні опису ОД.

Вихідний рівень, на якому функції $w_k(\tau_1,\ldots,\tau_k)$, одержувані в результаті ідентифікації ОД, розглядаються як єдине ціле.

Рівень вихідних ознак, на якому функція $w_k(\tau_1,\ldots,\tau_k)$ представлена вектором $x_k = (x_{1k},\ldots, x_{nk})'$. Інформативні ознаки можуть бути отримані за допомогою попереднього перетворення $\mathbf{T}_j$: $C[a, b]\rightarrow R^n$, $(j=1,\ldots, n)$: $x_{jk} = \mathbf{T}_j(w_k(\tau_1,\ldots,\tau_k))$; де $C[a, b]$ – простір дійсних безперервних функцій, заданих на відрізку $[a, b]$; a, b – деякі дійсні числа. У якості оператора $\mathbf{T}_j$ можуть застосовуватися ортогональні розкладання й інтегральні перетворювання БВФ у вектори коефіцієнтів базисних функцій. У найпростішому випадку оператор $\mathbf{T}_j$ є оператором дискретизації $x_{jk} = w_k(t_j,\ldots, tj)$, $t_j = j\Delta t$, де Δt – крок дискретизації. Аналогічно формується вектор ознак на основі частотних характеристик: багатовимірної амплітудно-частотної $A_k(\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_k)$ і фазочастотної $\phi_k(\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_k)$: $x_{2j-1} = A_k(\omega_j,\ldots, \omega_j)$, $x_{2j} = \omega_k(\omega_j,\ldots, \omega_j)$, $\omega_j = j\Delta\omega$, $j = 1, 2,\ldots, n$.

Рівень стиснення ознак полягає в знаходженні оптимального в деякому сенсі перетворення **A** вихідного простору векторів вимірювань **X** розмірністю n у просторі зображень меншої розмірності **Y** (розмірністю $m<n$). У цьому разі нові ознаки виявляються відірваними від конкретного фізичного змісту й мають тільки абстрактне інформаційне значення.

Застосування методу модельної діагностики, що розглядається, пов'язане з вирішенням завдання параметризації БВФ на рівні вихідних ознак і рівні стиснення ознак.

Оцінка інформативності інтегральних динамічних моделей, отриманих на основі БВФ, визначається на основі критерію максимальної ймовірності правильного розпізнавання (далі – ІПР) P_{max}, що реалізується побудованою системою розпізнавання на підмножині X' із заданої множини ознак $\mathbf{X}$ ($\mathbf{X}' \subset \mathbf{X}$) в обраній системі ознак:

$$P = \sum_{i=1}^{m} l_i \cdot \left(\sum_{i=1}^{m} L_i\right)^{-}, \qquad (1)$$

де l_i – кількість правильно класифікованих елементів i класу в екзаменаційній вибірці; L_i – кількість елементів i класу в екзаменаційній вибірці; m – кількість класів.

Класифікатор будується з використанням правил прийняття рішень на основі дискримінантних функцій, побудованих статистичними методами або на основі нейронних мереж (далі – НМ) у ході процесу навчання.

ROC-аналіз класифікаторів. Класифікатори, побудовані в різних системах ознак, додатково досліджуються за допомогою ROC-аналізу.

ROC-крива демонструє залежність числа правильно класифікованих справжніх позитивних

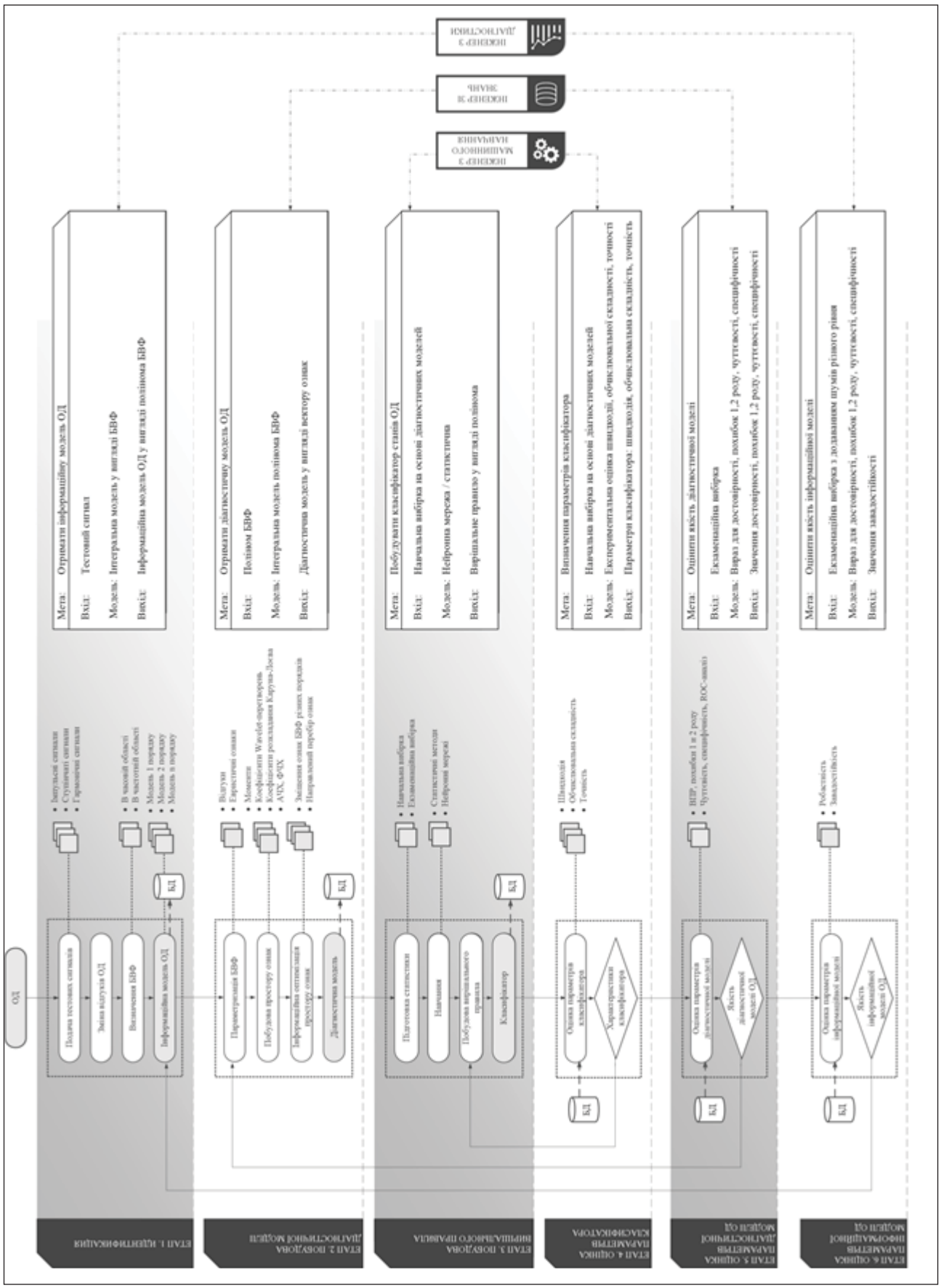

Рис. 2. Алгоритм модельно орієнтованої інформаційної технології модельної діагностики

результатів *(TP)* із числа неправильно класифікованих помилкових негативних результатів *(FN)*. Таким чином, ROC-крива демонструє компроміс між чутливістю S_e і специфічністю S_p.

Чутливість і специфічність визначаються за допомогою таких формул:

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \cdot 100\,\%, \quad (2)$$

$$Sp = \frac{TN}{TP + FN} \cdot 100\,\%, \quad (3)$$

де *TP* – кількість справжніх позитивних результатів, *TN* – кількість справжніх негативних результатів, *FN* – кількість помилкових негативних результатів, *TN* – кількість дійсних негативних наслідків, *FP* – кількість помилкових спрацьовувань.

Із метою побудови універсальної процедури діагностування складних ОД різної фізичної природи визначені ключові етапи перетворення діагностичної інформації (побудови класифікатора) та етапи верифікації отриманих моделей на кожному рівні. Запропонована V-модель процедури діагностування (рис. 1), на основі якої побудовано модельно орієнтовану інформаційну технологію діагностування нелінійних динамічних ОД в умовах апріорної невизначеності (рис. 2).

Висновки. У роботі здійснено спробу подальшого розвитку теорії діагностування складних об'єктів контролю типу «чорний ящик» шляхом розроблення 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 й підвищення надійності діагностики під час створення новітніх автоматизованих систем діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації.

Список літератури:

1. Korbicz J. & Koscielny J., (eds). Modeling, Diagnostics and Process Control: Implementation in the DiaSter System. Springer: Berlin, 2010.
2. Mmgalski M., Korbicz J. Robust fault diagnosis via parameter identification of dynamical systems. European Control Conference, ECC 2009. 2014.
3. Simani S., Fantuzzi C., Dynamic system identification and model-based fault diagnosis of an industrial gas turbine prototype. Mechatrouics. Volume 16. Issue 6, July 2006. P. 341–363.
4. Pazera M., Korbicz, J. A process fault estimation strategy for non-linear dynamic systems. Journal of Physics: Conf. Series 783. 2017.
5. Tang H.. Liao Y., Cao J., Xie H. Fault Diagnosis Approach Based on Volterra Models. Mechanical Systems and Signal Processing. 2010. Vol. 24. Pp. 1099–1113.
6. 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: 24–27 Aug. 2015 Miedzyzdroje, Poland. Pp. 1022–1027.
7. Chen W., Khan A., Abid M., Ding S. Integrated design of observer based fault detection for a class of uncertain nonlinear systems. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. 2011. 21(3). Pp. 423–430.
8. Pavlenko V., Fomin O., Ilyin V. Technology for Data Acquisition in Diagnosis Processes By Means of the Identification Using Models Volterra. 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.
9. Hao Tang, Liao Y., Cao J., Hang Xie. Fault diagnosis approach based on Volterra models. Mechanical Systems and Signal Processing. May 2010. Volume 24. Issue 4. Pp. 1099–1113.
10. Фомін О. Метод побудови простору діагностичних ознак на основі інтегральних динамічних моделей. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Т. 29 (68) № 1 2018, Ч. 2. С. 43–47.

МОДЕЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НДС В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Решается проблема обеспечения универсальности и повышения надежности диагностической процедуры на основе построения интегральных нелинейных динамических моделей и методов их идентификации для создания эффективных инструментальных средств информационной технологии диагностирования объектов различной природы.

Предложена V-модель процедуры диагностики, на основе которой построена модельно ориентированная информационная технология диагностирования нелинейных динамических объектов в условиях априорной неопределенности.

Ключевые слова: *информационные технологии, диагностика непрерывных систем, диагностические модели, многомерные весовые функции, идентификация, классификация.*

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

The problem of ensuring universality and increasing the reliability of the diagnostic procedure is based on the construction of integral nonlinear dynamic models and their identification methods for creating effective instrumental means of information technology for the diagnosis of objects of various natures.

The V-model of the diagnostic procedure is proposed, on the basis of which a model oriented information technology for diagnosing nonlinear dynamic objects in a priori uncertainty conditions is constructed.

Key words: *information technologies, diagnostics of continuous systems, diagnostic models, multidimensional weight functions, identification, classification.*