

## МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНІ ПРОЦЕДУРИ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ

Вінницький національний технічний університет.

### *Анотація*

*Метою представленої роботи є проведення систематизованого аналізу процедури модельно-орієнтованого виявлення несправностей. Основною концепцією модельно-орієнтованих методів виявлення, локалізації й ідентифікації несправностей є застосування математичної моделі об'єкту контролю, у якості аналітичної або програмно-інформаційної надмірності, замість апаратного резервування. Перевагою такого методу є те, що поведінка системи може бути керованою у реальному масштабі часу. Визначено, що розглянутий метод виявлення несправностей є більш ефективними, чим сигнально-орієнтовані методи, оскільки в цьому випадку використовується більша кількість апріорної інформації про систему. Зауважено, що отримання високоякісної математичної моделі контрольованого об'єкта вимагає застосування добре перевічених методів моделювання систем, що пов'язано із труднощами як аналітичного, так і обчислювального характеру. Розглянута узагальнена концепція модельно-орієнтованих процедур виявлення несправностей. Детально розглянуті особливості діагностики несправностей у режимі реального часу. Визначена актуальність і її доцільність проведення подальших досліджень в даному напрямку.*

**Ключові слова:** Модельно-орієнтовані процедури виявлення несправностей, локалізації несправностей, математична модель об'єкту.

### *Abstract*

*The purpose of the provided work - the systematized analysis of the model oriented fault detection procedure. The main concept of the model-oriented methods of identification, localizations and identifications of faults are applications of mathematical model of a subject to control, as analytical or program redundancy, instead of hardware reservation. Advantage of such method is that the behavior of a system can be predicted in real time. It is defined that the considered method of fault detection is more effective, than the alarm oriented methods as in this case the bigger number of the prior information on a system is used. It is noticed that deduce of high-quality mathematical model of a controlled object demands application of well checked methods of modeling of systems that is connected with difficulties of both analytical, and computing character. The generalized concept of the model oriented procedures of fault detection is considered. In details considered features of diagnostics of faults in real time. The relevance and expediency of carrying out further researches in this direction is defined.*

**Keywords:** The model oriented procedures of fault detection, localizations of faults, object mathematical model.

### **Вступ**

Розпізнавання несправностей це процес дослідження об'єкта з метою визначення його стану. Якщо об'єктом діагностування є технічна система, то відповідно й діагностування називається технічним. Несправності виявляють досить істотний вплив на характеристики об'єкта контролю, і тому повинні бути виявленими й розпізнаними. Розпізнавання несправностей також необхідно й для того, щоб попередити появу аварійних, позаштатних станів, які можуть привести до важких наслідків. Джерелом несправностей у динамічних процесах і системах можуть бути неправильна робота або збої регулятора, поломки в сенсорній підсистемі або непередбачені відхилення в роботі складових частин об'єкта контролю.

Модельно-орієнтовані методи виявлення, локалізації й ідентифікації несправностей засновані на інтуїтивній ідеї заміни фізичного резервування математичною моделлю, реалізувати яку можна за допомогою комп'ютерної програми. Математична модель працює паралельно з діючим об'єктом, на їхні входи подаються ті самі вхідні сигнали. У цьому випадку поведінка системи може бути керованою у реальному масштабі часу. За аналогією з фізичною надмірністю можна вести поняття надмірності аналітичної або програмно-інформаційної [1]. Загальновідомо [2, 3, 4], що методи виявлення несправностей, орієнтовані на математичну модель є більш ефективними, чим сигнально-орієнтовані методи, тому що в цьому випадку є більша кількість апріорної інформації про систему.

## Принципи побудови модельно-орієнтованих процедур виявлення несправностей

Слід зауважити, що отримання високоякісної математичної моделі контрольованого об'єкта вимагає застосування добре перевірених методів моделювання систем і, в свою чергу, сполучене із труднощами як аналітичного, так і обчислювального характеру. У результаті моделювання з'являється або кількісна (аналітична) модель досліджуваного процесу у вигляді сукупності диференціальних, різницевого рівнянь або якісна модель, яка виражається в термінах якісних характеристик окремих складових частин системи. Якісні моделі прийнято відносити, до так званих, моделей орієнтованих на інформаційну поінформованість (знання). Прикладом таких систем можуть бути нейронні мережі, мережі Петрі, експертні системи, системи, що використовують елементи нечіткої логіки й т.п. У відповідності зі сказаним, модельно-орієнтовані схеми виявлення й локалізації несправностей можна розділити на два класи: методи, які використовують кількісні математичні моделі й методи, орієнтовані на інформаційні знання. Методи, орієнтовані на інформаційні знання доцільно застосовувати до тих систем, які не допускають точний математичний опис або одержання аналітичних моделей сполучене з надзвичайними труднощами математичного характеру. Прикладом таких систем можуть бути соціально-економічні, медико-біологічні, хіміко-технологічні процеси великої розмірності або системи керування ядерними реакторами. Між фізичними параметрами й параметрами моделі потрібно провести відповідне моделювання. На рис. 1 схематично зображена процедура виявлення несправностей з використанням кількісної математичної моделі.

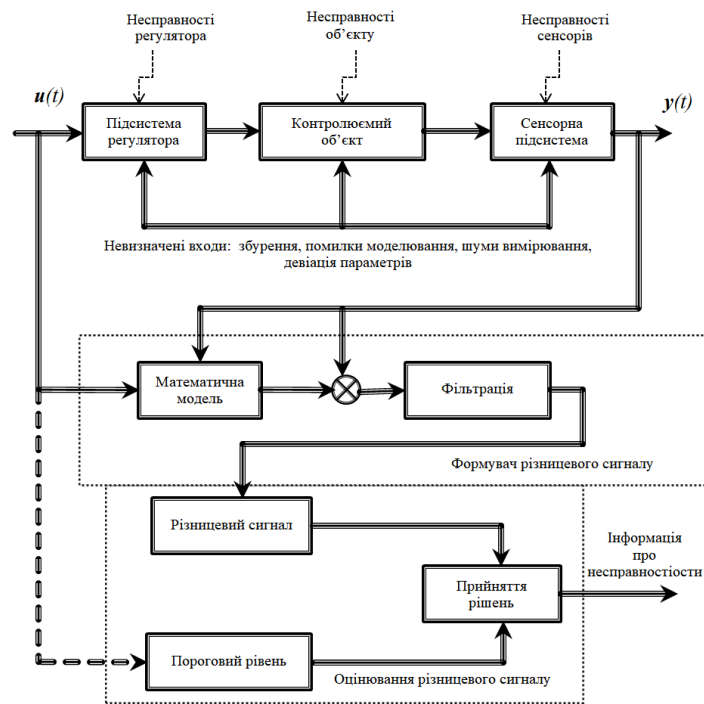


Рис. 1 – Модельно-орієнтована процедура виявлення несправностей

Модельно-орієнтована процедура виявлення несправностей складається із двох частин: формувача залишкового різницевого сигналу, так званого генератора залишків, і пристрою оцінювання залишків цього різницевого сигналу. Така стратегія вперше була запропонована Chow E.Y і Willsky A.S. [5] і тепер стала загальноприйнятою.

**Формування залишкового різницевого сигналу.** У генераторі залишків різницевий сигнал утворюється шляхом порівняння реальних виходів системи з їхніми оцінками. Залишки різницевого сигналу містять інформацію про зародження несправності. У випадку відсутності несправностей він зазвичай дорівнює нулю або близький до нього, але у випадку їх появи надлишковий різницевий сигнал суттєво відрізняється від нуля. В ідеальному випадку, залишковий різницевий сигнал однозначно характеризує всі зміни в контрольованій системі незалежно від її входів і виходів. Оскільки залишки різ-

ницевого сигналу являють собою реальний фізичний процес, який крім несправностей, також включає у свій склад вплив збурень, шуми вимірів, помилки моделювання, варіації параметрів і т.д., стає необхідним процес очищення залишків різницевого сигналу від небажаних, невідомих і неконтрольованих впливів з метою добування можливо більшої кількості інформації про несправності. Таке очищення виконується на наступному етапі, що називається оцінкою залишків різницевого сигналу.

Таким чином, процес формування залишкового різницевого сигналу являє собою процедуру добування діагностичних ознак несправності, що зароджується, яку слід інтерпретувати як процес обробки сигналів.

**Процедура прийняття рішень.** До залишкового різницевого сигналу, сформованому у генераторі залишків, застосовують статистичне тестування, за результатами якого ухвалюється розв'язок про виникнення несправності. Процедура прийняття розв'язків, у найпростішому випадку, може полягати у фіксації перетинання фіксованого граничного рівня миттєвим значенням залишкового різницевого сигналу. Граничне значення може бути фіксованим, мінятися по алгоритму ковзного середнього, або може ґрунтуватися на методах теорії прийняття статистичних розв'язків з використанням, наприклад, узагальненого відношення правдоподібності, послідовного правила прийняття статистичних розв'язків [6, 7] і т.п.

Більшість робіт в області функціональної діагностики, орієнтованих на використання кількісних математичних моделей пов'язане із завданням коректного формування залишкового різницевого сигналу, тому що прийняття розв'язків, у випадку якщо різницевий сигнал сформований коректно, здійснюється відносно просто. Однак, це зовсім не означає, що питання прийняття розв'язків є другорядними.

**Діагностика несправностей у режимі реального часу.** Існуючі та перспективні методи функціональної діагностики здебільшого відносяться до режиму реального часу, тобто діагностика виконується під час роботи контрольованої системи. Причина в тому, що необхідну інформацію для коректної роботи діагностичних схем, орієнтованих на використання математичної моделі об'єкта контролю, можна отримати тільки з боку діючих входів – виходів. Крім того, у багатьох практичних випадках, введення додаткових зворотних зв'язків і тестових сигналів просто неприпустимо, тому що вони порушують режим нормального функціонування. Інформація, що необхідна системі функціональної діагностики, знімається з виходів сенсорів і входів силових приводів регулятора. Вихідні виміри звичайно використовуються в замкненій системі керування, у той час як вхідні сигнали, що надходять на регулятор, створюються контролером, який реалізований засобами обчислювальної техніки з використанням мікропроцесорів. Отже, у такому випадку, немає необхідності в установці додаткового встаткування для реалізації діагностичних засобів, за винятком підвищених вимог до продуктивності мікро – ЕОМ, що використовується.

## Висновки

1. Модельно-орієнтовані методи виявлення, локалізації й ідентифікації несправностей засновані на інтуїтивній ідеї заміни фізичного резервування математичною моделлю об'єкта контролю. Методи виявлення несправностей, орієнтовані на математичну модель є більш ефективними, чим сигнально-орієнтовані методи. Отримання високоякісної математичної моделі контрольованого об'єкта вимагає застосування добре перевірених методів моделювання систем і сполучене із труднощами як аналітичного, так і обчислювального характеру, що вимагає великого обсягу додаткових обчислень.

2. Модель об'єкта досліджень можливо отримати або у вигляді сукупності диференціальних, різницевих рівнянь, або у вигляді якісної моделі, яка виражається в термінах якісних характеристик окремих складових частин системи. У відповідності зі сказаним, модельно-орієнтовані схеми виявлення й локалізації несправностей можна розділити на два класи: методи, які використовують кількісні математичні моделі й методи, орієнтовані на інформаційні знання. Методи, орієнтовані на інформаційні знання доцільно застосовувати до тих систем, які не допускають точний математичний опис або одержання аналітичних моделей сполучене з надзвичайними труднощами математичного характеру.

3. Невід'ємною частиною модельно-орієнтованої процедури виявлення несправностей є формувач залишкового різницевого сигналу, так званого генератора залишків, і пристрій оцінювання залишків цього різницевого сигналу. Процес формування залишкового різницевого сигналу слід інтерпретувати як процес обробки сигналів.

4. Для систем реального часу інформація, що необхідна системі функціональної діагностики, знімається з виходів сенсорів і входів силових приводів регулятора. Вихідні виміри звичайно використовуються в замкненій системі керування, у той час як вхідні сигнали, що надходять на регулятор, створюються контролером, який реалізований засобами обчислювальної техніки з використанням мікропроцесорів. У такому випадку немає необхідності у додатковому встаткуванні для реалізації діагностичних засобів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Frank P. M. Analytical and qualitative model-based fault diagnosis - a survey, *Europ. J. Control*, vol. 2, pp. 6–28, 1996.
2. Frank P. M. On-line fault detection in uncertain nonlinear systems using diagnostic observers: a survey. *Int. J. Systems Sci.*, vol. 25/12, pp. 2129–2154, 1994.
3. A. Volovyk, V. Kychak, D. Kudriavtsev, D. Havrilov, A. Yarovy and L. Krylik, (2020) "Simultaneous Estimation in Linear Dynamic Systems with the Indeterminate Structure Disturbances," 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 651-655, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088884.
4. A. Volovyk Y., L. Krylik; I. Kobylanska, A. Kotyra, S. Amirgaliyeva (2018) Methods of stochastic diagnostic type observers. *Proceedings Volume 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018; 108082X (2018)* <https://doi.org/10.1117/12.2501693>
5. E. Y. Chow and A. S. Willsky, "Issues in the development of a general design algorithm for reliable failure detection," 1980 19th IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes, Albuquerque, NM, USA, 1980, pp. 1006-1012, doi: 10.1109/CDC.1980.271954.
6. Basseville M. Detecting changes in signals and systems - a survey, *Automatica* 1988, vol. 24(3): 309-326.
7. Basseville M. and Nikiforov I. V. (1993). *Detection of Abrupt Changes: Theory and application*, Information and System Science, Prentice Hall, New York, 1993, pp. 448.

**Воловик Андрій Юрійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: voland@vntu.edu.ua.

**Volovyk Andrii U.** – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: voland@vntu.edu.ua.