

**А. В. Нестеренко**  
**М. В. Філіпова**

## **Автоматизоване діагностування технологічних процесів методами ієрархічного моделювання та діагностичних процедур**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

*Розглянуто основні аспекти впровадження систем діагностування з використанням ієрархічного моделювання та діагностичних процедур. Окреслено подальші напрямки роботи для побудови ефективної системи діагностування. Основна ідея діагностичних моделей базується на компонентах, де система визначається як набір компонентів і відносин між ними. Діагностика такої системи проводиться в два етапи: виявлення несправностей і локалізація проблем. Для аналізу несправностей в автоматизованих системах застосовують велику кількість підходів та моделей. Найбільш часто для реалізації цього процесу використовують системи, які мають одну визначену модель, яка добре описує процес. Також можливе застосування експертних логічних графів для формалізації процесу. Проте якщо система велика і складна то модель стає дуже громіздкою і не завжди може коректно описати процес. Тому авторами пропонується застосування ієрархічної моделі для побудови системи аналізу несправностей, де на верхньому рівні буде проводитись загальна діагностична процедура з локалізацією некоректного компонента з подальшим застосуванням специфічної діагностичної моделі до локалізованої ділянки. Діагностична процедура може стосуватися певного рівня компонентного представлення. Система, яка підлягає діагностиці, структурована в ієрархії компонентів щодо їхньої структури та функціональності. Такий підхід дозволяє розбити складну систему на більш прості і до кожної підсистеми застосовувати свій специфічний алгоритм аналізу. Тобто при аналізі системи проводиться загальна діагностична процедура, яка локалізує рівень, на якому можлива несправність. Такий підхід дозволить швидко аналізувати систему на загальному рівні і після ідентифікації невідповідності проводити одну локальну процедуру аналізу. На думку авторів це дозволить пришвидшити роботи системи діагностування для складних систем.*

**Ключові слова:** автоматизована система контролю та керування, діагностика, технологічний процес.

### **Вступ**

Діагностування сучасних технологічних систем стає все більш складним завданням, оскільки сучасні технологічні системи складаються з численних компонентів, які взаємодіють і рекурсивно включають інші компоненти.

Коли кількість компонентів збільшується, то зростає складність діагностичного обґрунтування та час розрахунку, незалежно від необхідної точності аналізу і потенційного впливу нових компонентів на спостережувані фактори. Однорівнева діагностична процедура генерує багато потенційних діагнозів, які неможливо перевірити за короткий час.

*Метою роботи є* аналіз ієрархічного моделювання для розробки системи діагностичних процедур аналізу технологічних процесів.

Проблему збільшення складності можна вирішити шляхом створення моделі, де позиція у вертикальній ієрархії представляє певний рівень розглянутих елементів. Такий підхід допоможе проводити ефективно діагностування ходу технологічного процесу з виявленням та локалізацією несправностей.

### **Результати дослідження**

Найважливішими для нас є підходи, похідні від методів логічного мислення. Особливо, моделі, засновані на знаннях і причинно-наслідковій методології. Оскільки точні математичні моделі доступні лише для обмеженої кількості систем, методи інженерії знань і обчислювального інтелекту в принципі застосовні до будь-якої системи довільної складності (хоча рівень точності може змінюватися залежно від складності системи). Моделі, засновані на знаннях використовують невідповідності між спостережуваною та очікуваною

поведінкою системи, де очікувана поведінка прогнозується відповідно до знань про модель системи. Такий вид підходів ще називають діагностика на основі послідовності. Такі діагностичні системи не потребують етапу отримання експертних знань або навчання і можуть діагностувати навіть дуже нові системи, для яких експертні діагностичні знання, засновані на попередньому досвіді, не існують [1, 4].

Для діагностики технологічних систем можуть бути використані існуючі моделі їх коректної поведінки, розроблені при проектуванні та моделюванні таких систем [2, 4]. Основна ідея діагностичних моделей базується на компонентах, де система визначається як набір компонентів і відносин між ними. Діагностика такої системи проводиться в два етапи: виявлення несправностей і локалізація проблем. Модель системи має кілька обраних входів і виходів. Значення вхідних даних системи вимірюються та використовуються як вхідні дані для моделі. Значення вихідних даних моделі розраховуються та порівнюються з результатами спостереження системи. Якщо є значні розбіжності, то виявляється несправність системи. Загальна ідея такого модельного підходу представлена на рис. 1.

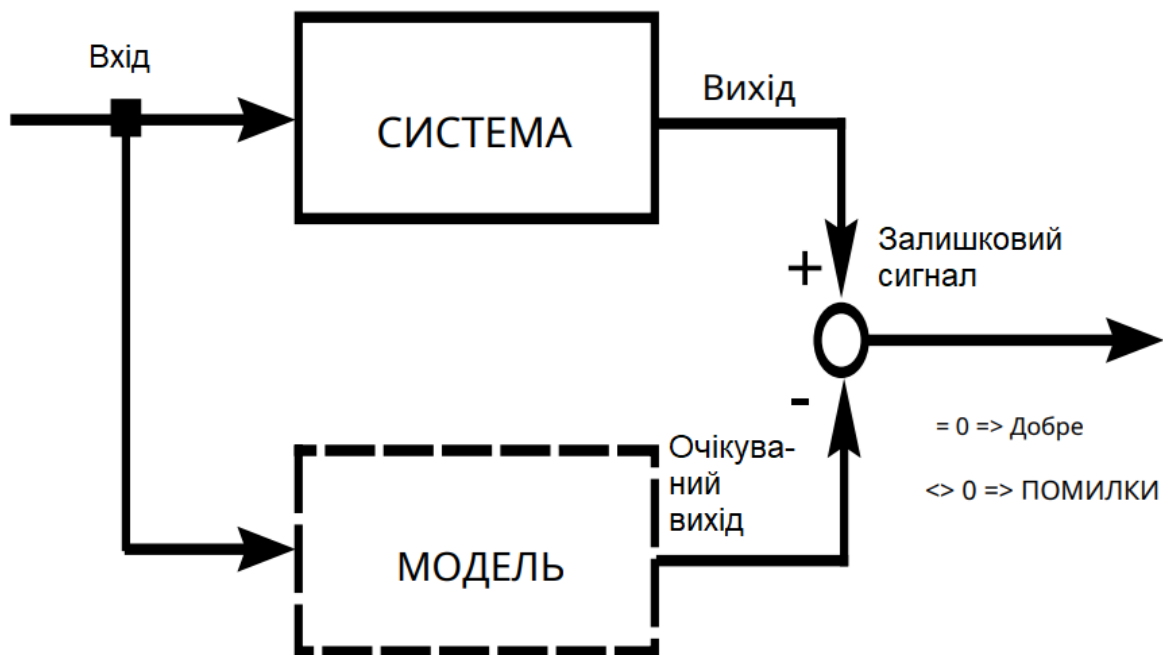


Рис. 1. Загальна ідея діагностики на основі послідовності

У разі виявлення неправильної поведінки, має бути проведена процедура локалізації проблем. Ідентифікуються набори компонентів, які не можуть працювати належним чином. Конфліктні набори включають компоненти, що беруть участь у генеруванні виходів системи, за якими були виявлені невідповідності. Елементи наборів конфліктів є природними кандидатами на несправність (принаймні один з них), і потенційне діагностування повинно включати принаймні один компонент із кожного набору конфліктів.

З іншого боку каузальні методології моделюють причинно-наслідкові зв'язки, які описують правильну та неправильну поведінку досліджуваних систем. В них, як правило, використовують для опису процедур основні логічні функтори (І, АБО, НІ) для моделювання зв'язків між симптомами та причинами несправностей. Простота цього підходу є його найбільшою перевагою, але іноді цей формалізм є занадто простим для опису більших систем.

Також діагностування несправностей можна проводити за допомогою експертних логічних графів, як приклад каузальної методології. Вони являють собою графічні зображення причинно-наслідкових зв'язків. Експертний граф визначається як ациклічний орієнтований

граф із вузлами, що моделюють симптоми, і дугами, що відносяться до причинно-наслідкових зв'язків. Типи вузлів у таких графах можуть бути: AND (кон'юнкція), OR (диз'юнкція) і NOT (заперечення). Діагнози генеруються за допомогою простих правил для розповсюдження станів вузлів через експертний граф у поєднанні з пошуком логічних значень вхідних вузлів, які передбачають спостережувану неправильну поведінку. Вузол AND представлений на малюнках у вигляді вузла з додатковою дугою під вузлом, OR є чистим вузлом графа, а дуга NOT представлена дугою з чорною крапкою [3].

Ми пропонуємо застосувати інший модельно-ієрархічний підхід, який засновано на прямому моделюванні ієрархії компонентів системи, яка може рекурсивно включати інші компоненти (рис. 2). Діагностична процедура може стосуватися певного рівня компонентного представлення [4]. Система, яка підлягає діагностиці, структурована в ієрархії компонентів щодо їхньої структури та функціональності. Такий підхід дозволяє розбити складну систему на більш прості і до кожної підсистеми застосовувати свій специфічний алгоритм аналізу. Тобто при аналізі системи проводиться загальна діагностична процедура, яка локалізує рівень, на якому можлива несправність. Далі на цьому рівні застосовується специфічна для нього процедура діагностування.

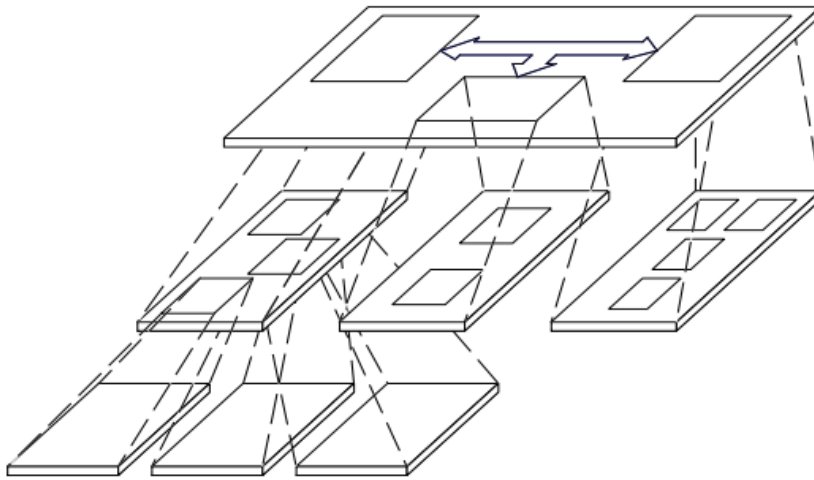


Рис. 2. Абстрактний приклад ієрархічної моделі

Такий підхід дозволить швидко аналізувати систему на загальному рівні і після ідентифікації невідповідності проводити одну локальну процедуру аналізу. На думку авторів це дозволить пришвидшити роботи системи діагностування для складних систем.

### Висновки

В результаті проведеного аналізу можна сформувавши систему для проведення діагностичних процедур для складних систем за рахунок її реалізації в вигляді ієрархічних структур. Це дозволить в подальшому застосувати існуючих підходи штучного інтелекту до діагностики, особливо підходи на основі узгодженості та причинно-наслідкових зв'язків. В подальшому планується визначити формальну концепцію нової загальної моделі для моделювання ієрархічних структур складних систем при їх використанні в діагностичному висновку, розробити методологію ієрархічної діагностики та концептуальне експериментальне програмне забезпечення, що підтримує ієрархічне моделювання та аналіз складних технічних систем.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Bach C., Allemang D. Case-based reasoning in diagnostic expert systems. *Artificial Intelligence Communications*. vol. 9(2), 1996. p. 49-52.
- [2] Lueth K. L., Patsioura C., Williams Z. D. Industrial analytics 2016/2017 the current state of data analytics usage in industrial companies, 2016. Режим доступу : <https://digital-analytics-association.de/wp-content/uploads/2016/03/Industrial-Analytics-Report-2016-2017-vp-singlepage.pdf>.
- [3] Ligeza A., Fuster-Parra P. And/or/not casual graphs - a model for diagnostic reasoning. *Applied Mathematics and Computer Science*, Vol. 7. No. 1, 1997. p. 57-95. Режим доступу : [https://zbc.uz.zgora.pl/repozytorium/Content/57808/AMCS\\_1997\\_7\\_1\\_11.pdf](https://zbc.uz.zgora.pl/repozytorium/Content/57808/AMCS_1997_7_1_11.pdf).

[4] Нестеренко А. Алгоритми автоматизованого контролю та діагностування технологічних процесів. VII МСНТК. 25-26 квітня 2024 року. ТНТУ, 2024. с. 267–268.

**Нестеренко Андрій Вячеславович** — здобувач вищої освіти ступеня магістра, nester.letopisets@gmail.com;  
**Філіппова Марина Вячеславівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів.  
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**A. V. Nesterenko**  
**M. V. Filippova**

## **Automated diagnostic of technological processes by methods of hierarchical modeling and diagnostic procedures**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

*The main aspects of the implementation of diagnostic systems using hierarchical modeling and diagnostic procedures are considered. Further directions of work for the construction of an effective diagnostic system are outlined. The basic idea of diagnostic models is based on components, where a system is defined as a set of components and relationships between them. Diagnostics of such a component system is carried out in two stages: detection of malfunctions and localization of problems. A large number of approaches and models are used to analyze malfunctions in automated systems. Most often, systems that have one defined model that describes the process well are used to implement this process. It is also possible to use expert logic graphs to formalize the process. However, if the system is large and complex, the model becomes very cumbersome and cannot always correctly describe the process. Therefore, the authors propose the use of a hierarchical model for building a fault analysis system, where a general diagnostic procedure with localization of an incorrect component will be carried out at the top level, followed by the application of a specific diagnostic model to the localized area. A diagnostic procedure may refer to a certain level of component representation. The system to be diagnosed is structured in a hierarchy of components with respect to their structure and functionality. This approach allows you to break down a complex system into simpler ones and apply your own specific analysis algorithm to each subsystem. That is, when analyzing the system, a general diagnostic procedure is carried out, which localizes the level at which a malfunction is possible. This approach will make it possible to quickly analyze the system at a general level and, after identifying a discrepancy, conduct one local analysis procedure. According to the authors, this will make it possible to speed up the work of the diagnostic system for complex systems.*

**Keywords:** automated control and management system, diagnostics, technological process.

**Nesterenko Andrii Viacheslavovych**— graduate of higher education, master's degree, nester.letopisets@gmail.com;

**Filippova Maryna Viacheslavivna** — Ph.D., Associate Professor of the Instrument Production Department.