

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна  
професору Сергію ЯКОВЛЕВУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента кафедри електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки **Мартовицького Віталія Олександровича** на дисертаційну роботу Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології, за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

### **Актуальність теми дисертації**

Сучасна промисловість дедалі більше спирається на безперервний моніторинг технічного стану відповідального обладнання, проте сам по собі факт накопичення великих обсягів сенсорних даних ще не гарантує своєчасного та достовірного діагностичного висновку. Саме розрив між технічними можливостями збору даних, що забезпечуються технологіями Індустрії 4.0, Інтернету речей та систем SCADA, і обмеженою здатністю наявних методів перетворювати ці дані на повну й стійку діагностичну інформацію визначає проблематику, якій присвячено дисертаційну роботу. Для динамічних технічних систем ця проблема загострюється нестаціонарністю процесів деградації та змінністю операційних режимів, за яких традиційні одноцільові методи втрачають точність, а непередбачувані відмови супроводжуються значними економічними та безпековими наслідками.

Принциповим є те, що автор не обмежується констатацією переваг переходу до прогностичного обслуговування на основі даних, а виявляє системний характер невирішених проблем галузі: фрагментарність та одноцільову спрямованість методів, що зумовлюють неповноту діагностичного висновку; гомогенність ансамблевих підходів за відсутності механізмів автоматизованого підбору їхньої конфігурації; брак уніфікованих способів формування часових представлень для різнорідних обчислювальних компонентів; недостатню спеціалізацію компонентів багаторівневих технологій. Те, що ці проблеми взаємно підсилюють одна одну, обґрунтовує доцільність саме комплексного, а не локального їх вирішення.

Відповіддю на ці виклики є запропонована здобувачем багаторівнева інформаційна технологія, ідеєю якої є інтеграція комплементарних підходів машинного та глибокого навчання з подальшим ансамблюванням діагностичних рішень задля одночасного досягнення повноти діагностичного висновку та стійкості діагностування в умовах складності операційних режимів. Орієнтація роботи саме на стійкість діагностування, а не лише на максимізацію точності в контрольованих умовах, відповідає реальним потребам експлуатації та вирізняє дослідження з-поміж типових робіт цього напрямку. З огляду на викладене тема дисертації є актуальною та практично значущою для галузі інформаційних технологій.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано багаторівневу інформаційну технологію технічного діагностування динамічних систем та їх елементів, яка поєднує комплементарні підходи машинного навчання з ансамблюванням діагностичних рішень, що підвищує точність і забезпечує стійкість діагностування.

2. Удосконалено метод попередньої обробки та підготовки даних шляхом комплексної обробки даних та розробки підходу до формування диференційованих часових представлень, що забезпечує узгоджену обробку даних для різнорідних компонентів технології діагностування.

3. Удосконалено метод класифікації стану об'єктів на основі ансамблювання контрольованих та неконтрольованих методів класичного машинного навчання, що дозволяє поєднати переваги контрольованого навчання з можливостями неконтрольованих методів щодо виявлення нових типів аномалій.

4. Дістав подальшого розвитку метод нечіткої кластеризації стану об'єктів на основі агентно-орієнтованого підходу шляхом розробки та застосування декількох режимів функціонування.

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується логічною повнотою дослідження та узгодженістю його теоретичної й експериментальної частин. Технологію побудовано не довільно, а на основі явно сформульованої системи з шести фундаментальних принципів, що надає її трирівневій архітектурі цілісність, причому кожен компонент доведено від загального опису до строгої математичної формалізації та програмної реалізації. Можна виділити окремі методологічні рішення, зокрема розмежування задач виявлення аномалій і зменшення розмірності між двома автокодувальниками з диференційованим навчанням, агентно-орієнтований алгоритм нечіткої кластеризації з автоматичним визначенням кількості кластерів, а також механізм ансамблювання з трьома стратегіями голосування та можливістю виключення неефективних компонентів.

Достовірність висновків підтверджується ґрунтовним експериментальним дослідженням на еталонному наборі C-MAPSS NASA з використанням підмножин контрольованої (FD001) та ускладненої багаторежимної (FD004) складності. Цінним є те, що дослідження не обмежується підсумковими показниками, а встановлює нетривіальні закономірності, зокрема залежність якості неконтрольованих компонентів та оптимальної конфігурації ансамблювання від складності операційних

сценаріїв. Інтегрована технологія досягає F1-міри 94,12 % на FD001 та 92,31 % на FD004 за зниження лише на 1,81 %, що разом з оцінкою обчислювальних ресурсів свідчить про її практичну придатність.

Таким чином поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Шевченка Д.О. є завершеною науковою працею та повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 – Комп’ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Комп’ютерні науки». Робота характеризується внутрішньою узгодженістю: сформульовані у вступі задачі послідовно вирішуються у відповідних розділах, а отримані результати співвідносяться з поставленою метою. Слід також відзначити сумлінність здобувача у питанні використання систем штучного інтелекту: у роботі прозоро задекларовано допоміжний характер їх застосування та чітко розмежовано особистий науковий внесок автора.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Шевченка Д.О. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою із дотриманням норм наукового стилю. Виклад є логічно структурованим, термінологічно послідовним та стриманим за тональністю; кожен розділ супроводжується аргументованими висновками, а перехід між розділами підпорядковано єдиній

логіці – від виявлення проблем до їх формалізованого та експериментально перевіреного вирішення. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг становить 183 сторінки, у тому числі основний текст на 135 сторінках; список використаних джерел налічує 150 найменувань; робота містить 30 таблиць і 9 рисунків.

Структурно матеріал організовано за принципом послідовного поглиблення. Перший розділ присвячено аналізу математичних моделей, методів і технологій технічного діагностування динамічних систем та систематизації чотирьох груп невирішених проблем, що формують підґрунтя для постановки задач. Другий розділ містить концептуальне ядро роботи – обґрунтування фундаментальних принципів, побудову трирівневої моделі функціонування технології та змістовний опис усіх її методів і двоетапного процесу налаштування. Третій розділ забезпечує строгу математичну формалізацію технології та всіх її компонентів, включно з механізмами формування діагностичних рішень і обчислення їхньої достовірності, трьома стратегіями голосування та формалізацією автоматизованого підбору конфігурації. Четвертий розділ присвячено комплексній експериментальній перевірці: систематичному дослідженню п'яти методів рівня діагностування, дослідженню методу ансамблювання, оцінці інтегрованого функціонування технології, порівняльному аналізу з існуючими підходами та оцінці обчислювальних ресурсів. Така побудова забезпечує простежуваність кожного результату від теоретичного обґрунтування до експериментального підтвердження. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Основні наукові результати дисертації достатньою мірою висвітлені у 12 наукових працях. Дві статті опубліковано у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами Scopus та Web of Science, п'ять

статей – у наукових фахових виданнях України, а ще п'ять праць становлять тези доповідей на наукових конференціях. Результати дослідження пройшли апробацію на науково-технічних конференціях всеукраїнського та міжнародного рівнів упродовж 2021–2025 років. Зміст публікацій відповідає темі дисертації; у працях, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача чітко окреслений. Таким чином, наукові результати дисертаційної роботи повною мірою відображені у публікаціях здобувача, а їх кількість та рівень відповідають установленим вимогам.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. У методі попередньої обробки та підготовки даних операція інженерії ознак виконується вручну та визначається окремо для кожного набору даних (підрозділи 3.1, 4.1.2): зокрема, для турбовентиляторних двигунів сформовано шість додаткових ознак на основі співвідношень і різниць параметрів суміжних ступенів. З огляду на заявлену придатність технології до широкого кола об'єктів діагностування, доцільно було б формалізувати чи частково автоматизувати цей крок або чіткіше окреслити межі застосовності уніфікованої частини методу.

2. У стратегіях зваженого за достовірністю та гібридного голосування достовірності окремих методів використовуються як множники їхнього внеску у фінальне рішення. При цьому достовірність кожного методу обчислюється за формулою різної природи (віддаленість інтегрованої оцінки від порогу, помилка реконструкції, міра належності до кластерів тощо), а питання їх порівнянності у єдиній шкалі в роботі окремо не розглядається. Дослідження калібрування цих мір або аналіз чутливості результатів ансамблювання до способу їх обчислення посилили б обґрунтування зваженого та гібридного голосування.

3. Частина показників, на яких ґрунтуються висновки про стійкість технології, має невелику абсолютну величину різниці (зниження F1-міри на 1,81 %, різниця RMSE між підмножинами 1,59 циклу), тоді як компоненти на

основі нейронних мереж навчаються з елементом стохастичності. Показники якості діагностування наведено як точкові оцінки за одиничними запусками навчання. Усереднення результатів за декількома незалежними запусками із зазначенням довірчих інтервалів дозволило б формально підкріпити висновки порівняльного аналізу.

4. Автоматизований підбір конфігурації ансамблювання здійснюється систематичним перебором значної кількості варіантів з обиранням найкращого за якістю на перевіірочній вибірці обмеженого обсягу. Для зменшення ризику підлаштування конфігурації під перевіірочні дані доцільним був би додатковий контроль узагальнювальної здатності, зокрема засобами вкладеної перехресної перевірки.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не стосуються основних наукових положень роботи та не знижують її наукової новизни, практичної значущості й загальної позитивної оцінки.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені у пп. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Шевченко Дмитро Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

**Офіційний опонент:**

кандидат технічних наук,

доцент закладу вищої освіти кафедри

електронних обчислювальних машин

Харківського національного

університету радіоелектроніки



Віталій МАРТОВИЦЬКИЙ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:35:38 01.07.2026

Назва файлу з підписом: Відгук\_Шевченко\_Мартовицький.pdf.p7s  
Розмір файлу з підписом: 173.4 КБ

Назва файлу без підпису: Відгук\_Шевченко\_Мартовицький.pdf  
Розмір файлу без підпису: 156.0 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: МАРТОВИЦЬКИЙ ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

П.І.Б.: МАРТОВИЦЬКИЙ ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 3343616336

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 10:54:55  
29.06.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000042C5C301C9EE8207

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Серійний номер носія особистого ключа: 011

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.05.20 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна  
професору Сергію ЯКОВЛЕВУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора кафедри комп'ютерної інженерії та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» **Гавриленко Світлани Юріївни** на дисертаційну роботу Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології, за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

### **1. Актуальність теми дисертації**

Забезпечення надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації складних технічних об'єктів є однією з визначальних проблем сучасної промисловості. Динамічні технічні системи: турбовентиляторні двигуни, промислові турбіни та підшипники, редуктори, вітрові й гідравлічні установки, працюють в умовах нестаціонарних навантажень та змінних операційних режимів, а їхні непередбачувані відмови призводять до значних економічних втрат, простоїв виробництва та безпекових ризиків. У зв'язку з цим перехід від планово-запобіжного обслуговування до стратегій прогностичного обслуговування на основі даних моніторингу набуває стратегічного значення.

Розвиток технологій Індустрії 4.0, Інтернету речей та систем SCADA уможливив накопичення великих обсягів багатовимірних даних моніторингу, проте їх ефективне використання стримується низкою невирішених наукових

проблем. Як показано в роботі, наявні методи діагностування характеризуються фрагментарністю та односпрямованістю, гомогенністю ансамблевих підходів і відсутністю механізмів автоматизованого підбору їх конфігурації, відсутністю уніфікованих способів формування часових представлень для різнорідних компонентів, а також недостатньою спеціалізацією компонентів багаторівневих технологій. Ці проблеми мають системний характер і взаємно підсилюють одна одну.

Дисертаційна робота Шевченка Д. О. є відповіддю на зазначені виклики. Автор пропонує багаторівневу інформаційну технологію, яка інтегрує комплементарні підходи машинного та глибокого навчання з подальшим ансамблюванням діагностичних рішень. Такий підхід забезпечує повноту діагностичного висновку та стійкість діагностування в умовах складності операційних режимів. З огляду на це тема дисертації є актуальною як з науково-теоретичного, так і з практичного погляду, а отримані результати мають вагомe значення для галузі інформаційних технологій.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертація виконувалась відповідно до наукової програми 122 «Комп'ютерні науки» та була впроваджена на кафедрі комп'ютерних систем та робототехніки навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

Здобувач також брав участь у науково-дослідній роботі «Моделювання інформаційних процесів у складних і розподілених системах» (ДР № 0121U109183), що виконувалася в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна в якості виконавця окремих підрозділів.

## **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Сформульовані наукові положення, висновки та рекомендації мають достатній рівень обґрунтованості та достовірності. Здобувач не обмежився декларативним формулюванням задач, а реалізував повний науково-технічний цикл: системний аналіз предметної області з виявленням невирішених

проблем, побудову моделі функціонування технології на основі шести фундаментальних принципів, математичну формалізацію всіх її компонентів, програмну реалізацію та експериментальне дослідження. Особливо слід відзначити коректну математичну формалізацію інформаційної технології та її компонентів, що забезпечує однозначну специфікацію розроблених методів і відтворюваність результатів, зокрема специфікацію двох методів формування часових представлень (ковзного вікна та часових вікон з агрегацією статистик) та трьох стратегій голосування ансамблю (бінарного, зваженого за достовірністю та гібридного).

#### **4. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність результатів підтверджується ґрунтовною експериментальною перевіркою на еталонному наборі даних моделювання деградації турбовентиляторних двигунів NASA C-MAPSS із використанням підмножин різної складності – від одного операційного режиму до шести операційних режимів із двома механізмами деградації, що формують репрезентативний діапазон умов, наближених до реальної експлуатації. Переконаливою є широта порівняльного аналізу: розроблену технологію зіставлено з 15 підходами за задачею бінарної класифікації стану та з 27 підходами за задачею прогнозування залишкового ресурсу, причому для обох задач підтверджено її найвищу стійкість до ускладнення операційних умов при конкурентній абсолютній якості діагностування. Достовірність висновків забезпечується також оцінкою обчислювальних ресурсів, що підтверджує придатність технології до практичного застосування. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів є високою, а поставлене наукове завдання виконане повністю.

#### **5. Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Шевченка Д.О. є завершеною науковою працею та повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 – Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки».

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 183 сторінки, у тому числі: основний текст викладено на 135 сторінках; список використаних джерел налічує 150 найменувань. Робота містить 30 таблиць та 9 рисунків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет, розкрито наукову новизну та практичну цінність роботи.

У *першому розділі* проведено аналіз математичних моделей, методів та технологій технічного діагностування динамічних систем на основі даних моніторингу. Розглянуто методи попередньої обробки даних, визначення стану, зменшення розмірності, прогнозування залишкового ресурсу та багаторівневі інтегровані технології з ансамблевими методами. Систематизовано чотири групи невирішених проблем, що обґрунтовують задачі дослідження.

У *другому розділі* на основі визначених фундаментальних принципів розроблено інформаційну технологію та побудовано модель її функціонування, що структурує процес діагностування у три рівні: попередньої обробки та підготовки даних; діагностування стану об'єкта (п'ять методів, організованих у дві паралельні гілки); прийняття інтегрованого рішення на основі ансамблювання. Запропоновано двоетапний процес налаштування технології.

У *третьому розділі* виконано математичну формалізацію інформаційної технології та всіх її компонентів, визначено механізми формування діагностичних рішень і розрахунку їх достовірності, а також розроблено метод ансамблювання з трьома стратегіями голосування та формалізовано двоетапний процес налаштування моделі з автоматизованим підбором конфігурації.

У *четвертому розділі* виконано комплексне експериментальне дослідження технології з використанням даних C-MAPSS NASA, систематичне дослідження п'яти методів рівня діагностування, дослідження

методу ансамблювання, оцінку інтегрованого функціонування технології, порівняльний аналіз з існуючими підходами та оцінку обчислювальних ресурсів.

*Висновки*, сформульовані в роботі, чітко відображають вирішення завдань, поставлених у дисертації та відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

*Список використаних джерел* повною мірою охоплює предметну область дослідження, демонструючи глибоке опрацювання здобувачем значного масиву фундаментальних теоретичних джерел (зокрема вітчизняних), технічної літератури та праць іноземних авторів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

## **6. Наукова новизна одержаних результатів**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано багаторівневу інформаційну технологію технічного діагностування динамічних систем та їх елементів, яка поєднує комплементарні підходи машинного навчання з ансамблюванням діагностичних рішень, що підвищує точність і забезпечує стійкість діагностування.

2. Удосконалено метод попередньої обробки та підготовки даних шляхом комплексної обробки даних та розробки підходу до формування диференційованих часових представлень, що забезпечує узгоджену обробку даних для різнорідних компонентів технології діагностування.

3. Удосконалено метод класифікації стану об'єктів на основі ансамблювання контрольованих та неконтрольованих методів класичного машинного навчання, що дозволяє поєднати переваги контрольованого

навчання з можливостями неконтрольованих методів щодо виявлення нових типів аномалій.

4. Дістав подальшого розвитку метод нечіткої кластеризації стану об'єктів на основі агентно-орієнтованого підходу шляхом розробки та застосування декількох режимів функціонування.

## **7. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Розроблені методи, математичні моделі та багаторівнева інформаційна технологія доведені до рівня програмної реалізації й експериментально перевірені на еталонному наборі даних NASA C-MAPSS, продемонструвавши високу та стійку якість діагностування (F1-міра 94,12 % і 92,31 % за зниження лише 1,81 % в ускладнених операційних умовах) за прийнятних обчислювальних витрат (до 1,4 ГБ пам'яті та до 41 мс на один зразок), що підтверджує їх придатність до практичного застосування.

Результати роботи можуть бути використаними надалі при створенні промислових систем прогностичного обслуговування для діагностування турбовентиляторних двигунів, промислових турбін, підшипників, редукторів та іншого критичного обладнання в авіаційній, енергетичній та обробній промисловості.

## **8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст відзначається логічною структурою, послідовністю викладу та академічною грамотністю. Автор дотримується чіткої наукової логіки: кожен розділ містить обґрунтування задачі, опис застосованих підходів, аналітичні та чисельні результати й відповідні висновки. Матеріал викладено у формі, доступній для фахівців, із достатнім рівнем деталізації як теоретичних побудов, так і

прикладних компонентів. Стиль викладу відповідає вимогам до наукових дисертацій є стриманим, об'єктивним, без надмірної публіцистичності.

Дисертаційне дослідження виконано відповідно до наукових стандартів та академічної доброчесності. Отримані результати підтверджують оригінальність дослідження. У тексті присутні авторські ідеї, і не виявлено використання концепцій інших вчених без належних посилань.

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових працях, з яких 2 статті опубліковано у наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 5 статей – у наукових фахових виданнях України, а також 5 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій. Результати дослідження пройшли апробацію на науково-технічних конференціях всеукраїнського та міжнародного рівнів (2021–2025 роки), зокрема на міжнародній конференції IEEE DESSERT'2025. Зміст публікацій відповідає темі дисертації, а особистий внесок здобувача у працях, опублікованих у співавторстві, чітко визначений. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повною мірою висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

## **9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. Експериментальну перевірку розробленої інформаційної технології виконано виключно на одному еталонному наборі даних моделювання деградації турбовентиляторних двигунів (NASA C-MAPSS). Попри коректний вибір двох підмножин різної складності, у роботі декларується застосовність технології до широкого кола об'єктів (промислових турбін, підшипників, редукторів, вітрових та гідравлічних систем), однак експериментального підтвердження на реальних промислових даних або на інших типах динамічних систем не наведено, що дещо звужує доказову базу узагальнюючих висновків.

2. Результати свідчать про різке зниження якості неконтрольованих компонентів технології в ускладнених умовах: F1-міра методу виявлення аномалій на основі автокодувальників знижується з 88,57 % на FD001 до 61,01

% на FD004, а методу нечіткої кластеризації – з 81,82 % до 49,08 %, причому на FD004 неконтрольована компонента отримує нульовий ваговий коефіцієнт. Доречно було б ґрунтовніше обговорити практичну доцільність включення цих компонентів за умов багаторежимної експлуатації або запропонувати механізми збереження їхнього внеску.

3. У порівняльному аналізі (таблиця 4.25) поєднано результати, отримані безпосередньо автором, із результатами, запозиченими з літературних джерел, які могли бути одержані за відмінних умов експерименту (інша попередня обробка, поділ вибірок, спосіб формування міток). Обґрунтування зіставності цих умов посилило б достовірність висновків щодо переваг технології у задачі бінарної класифікації.

4. Бінарну класифікацію стану побудовано на пороговому підході до формування міток за значенням залишкового ресурсу (поріг RUL = 50 циклів). Хоча вибір порогу узгоджено зі стандартною практикою досліджень на наборі C-MAPSS та з пороговим значенням, використаним у методі прогнозування залишкового ресурсу, у роботі не наведено аналізу чутливості метрик якості діагностування до зміни цього значення. Зокрема, додаткового пояснення потребує помітне зниження якості у середньому діапазоні залишкового ресурсу (F1-міра 12,75 % для  $50 \leq RUL < 80$ ).

Висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну і практичну значущість результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

## **10. Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове

завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені у пп. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Шевченко Дмитро Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

**Офіційний опонент:**

доктор технічних наук,  
професор закладу вищої освіти кафедри  
комп'ютерної інженерії та програмування  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»



Світлана ГАВРИЛЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:34:41 01.07.2026

Назва файлу з підписом: Відгук\_Шевченко\_Гавриленко.docx.p7s  
Розмір файлу з підписом: 38.8 КБ

Назва файлу без підпису: Відгук\_Шевченко\_Гавриленко.docx  
Розмір файлу без підпису: 35.3 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Гавриленко Світлана Юріївна

П.І.Б.: Гавриленко Світлана Юріївна

Країна: Україна

РНОКПП: 2314501080

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для даних від Надавача): 13:01:44  
29.06.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП ДПС

Серійний номер: 3FAA9288358EC00304000000D0DF0900A9F3E800

Тип носія особистого ключа: Незахищений

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CADES enveloped)

Формат підпису: Базовий (CADES-BES)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.05.20 13:00

Голові разової  
спеціалізованої вченої ради  
Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна  
професору Сергію ЯКОВЛЕВУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

## **РЕЦЕНЗІЯ**

офіційного рецензента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника, професора кафедри комп'ютерних систем та робототехніки навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Толстолузької Олени Геннадіївни на дисертаційну роботу Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

### **1. Обґрунтування вибору теми дослідження**

Сучасний етап розвитку технічного діагностування динамічних систем визначається не дефіцитом вимірювальної інформації та не браком окремих алгоритмів її аналізу, а недостатнім рівнем опрацювання програмно-інформаційних рішень, які узгоджено поєднували б різноманітні обчислювальні компоненти в єдиний відтворюваний процес формування діагностичного висновку. Саме на цьому рівні, тобто на рівні інформаційної технології як цілісної, чітко специфікованої та придатної до переналаштування системи, і зосереджено дисертаційне дослідження Шевченка Д. О. Це визначає приналежність роботи до предметного поля спеціальності 122 Комп'ютерні науки, оскільки предметом удосконалення тут є насамперед спосіб організації

та інтеграції обчислювальної обробки даних моніторингу, а не фізико-математичний опис поведінки окремого технічного об'єкта.

Практичну вагу теми визначає те, що для відповідального обладнання, раптові відмови якого спричиняють значні економічні втрати та загрози безпеці, корисність діагностування залежить не від окремо взятої відповіді про поточний стан, а від повноти та внутрішньої узгодженості діагностичного висновку, який поєднує оцінку стану, виявлення відхилень і прогноз залишкового ресурсу. Запропонована здобувачем технологія націлена на формування саме такого комплексного висновку та на збереження його якості за змінних умов експлуатації, що відповідає реальним запитам промисловості.

З огляду на викладене тема дисертаційної роботи є актуальною та практично значущою для галузі інформаційних технологій.

## **2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення**

Дисертація є самостійною, логічно завершеною та цілісною працею, у якій послідовно пройдено весь шлях створення інформаційної технології: від аналізу предметної області й виявлення прогалин у наявних рішеннях до проектування, математичної формалізації, програмної реалізації та експериментальної перевірки запропонованої технології. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Загальний обсяг становить 183 сторінки, з яких 135 сторінок основного тексту; список використаних джерел налічує 150 найменувань; робота містить 30 таблиць і 9 рисунків.

Робота вдало поєднує концептуальну, математичну та експериментальну складові: у розділі 2 обґрунтовано систему фундаментальних принципів і побудовано трирівневу модель функціонування технології, у розділі 3 кожен її компонент доведено до однозначної формальної специфікації, а в розділі 4 технологію перевірено на практиці. Це робить виклад прозорим. Для кожного запропонованого рішення видно і його теоретичні підстави, і кількісне експериментальне підтвердження, що свідчить

про методологічну зрілість здобувача. Підсумкові висновки узгоджуються з метою та задачами дослідження і повною мірою спираються на викладений матеріал. Дисертаційна робота Шевченка Дмитра Олександровича відповідає всім необхідним вимогам щодо її оформлення, структури та змісту, як це передбачено в «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

### **3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами**

Тематику дисертаційної роботи пов'язано з науково-дослідною роботою «Моделювання інформаційних процесів у складних і розподілених системах» (державний реєстраційний номер 0121U109183, термін виконання 2021–2023 рр.), у виконанні якої здобувач брав участь як виконавець. Це підтверджує плановий характер дослідження та його узгодженість з науковою тематикою установи.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації мають достатній рівень обґрунтованості й достовірності. Методичний апарат роботи дібрано відповідно до природи розв'язуваних задач. Він охоплює методи системного аналізу, математичного та імітаційного моделювання, машинного й глибокого навчання, теорії нечітких множин, математичної статистики, оптимізації та аналізу часових рядів, і застосовано його коректно.

Обґрунтованість результатів забезпечується тим, що технологія спирається на чітко окреслену систему фундаментальних принципів, а кожен

її компонент послідовно доведено від формальної специфікації до програмної реалізації. Саме завдяки цій формалізації опис кожного методу є однозначним, а отримані результати придатними до незалежного відтворення. Переконаючою є побудова експериментального дослідження за принципом контрольованої варіативності. Зіставлення підмножини FD001 з одним операційним режимом і підмножини FD004 із шістьма режимами та двома механізмами деградації по суті є цілеспрямованою перевіркою стійкості технології до ускладнення умов. Достовірність висновків підкріплено кількісними критеріями стійкості, а саме зниженням F1-міри інтегрованої технології лише на 1,81 % при переході до найскладнішої підмножини та різницею RMSE прогнозування залишкового ресурсу між підмножинами в 1,59 циклу, а також широким зіставленням з наявними підходами та оцінкою обчислювальних ресурсів, що підтверджує придатність технології до практичного розгортання. Поставлене наукове завдання виконано в повному обсязі.

## **5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна**

Найвагомішим науковим результатом є сама багаторівнева інформаційна технологія технічного діагностування динамічних систем та їх елементів. Її новизна має передусім структурний, а не кількісний характер: замість традиційних гомогенних ансамблів та вузькоспеціалізованих одноцільових методів запропоновано спеціалізовану гетерогенну архітектуру, у якій машинне й глибоке навчання, контрольовані та неконтрольовані підходи поєднано так, щоб у межах єдиного процесу узгоджено отримувати класифікацію стану, виявлення аномалій і прогноз залишкового ресурсу.

Інші результати уточнюють і зміцнюють цю ідею. Метод попередньої обробки та підготовки даних удосконалено в частині формування диференційованих часових представлень, що дають змогу подавати ті самі дані у формі, придатній для кожного з різнорідних компонентів. Метод класифікації стану розвинуто через спільне використання контрольованих і

неконтрольованих алгоритмів класичного машинного навчання, завдяки чому точність навчання з учителем доповнюється здатністю реагувати на нетипові, раніше не марковані відхилення. Метод нечіткої кластеризації стану на агентно-орієнтованій основі доповнено кількома режимами функціонування. У сукупності ці положення є новими та мають самостійне значення для розвитку інформаційних технологій діагностування.

## **6. Дотримання академічної доброчесності**

Вивчення тексту дисертації та публікацій здобувача, а також ознайомлення з висновками перевірки роботи на текстові збіги дають підстави стверджувати, що дослідження виконано самостійно й сумлінно. Запозичені ідеї, результати та фрагменти текстів супроводжено коректними посиланнями, а ознак плагіату, фабрикації чи фальсифікації не виявлено. Заслуговує на схвалення й те, що здобувач відкрито окреслив межі застосування систем штучного інтелекту як допоміжного засобу та взяв на себе повну відповідальність за достовірність і оригінальність наукових результатів. Таким чином, робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

## **7. Практичне значення одержаних результатів**

Практична цінність роботи зумовлена тим, що результатом є не окрема модель, а гнучка інформаційна технологія, придатна до впровадження в наявні системи моніторингу та збору даних промислового обладнання. Автоматизований підбір конфігурації знижує витрати на адаптацію технології до нового об'єкта діагностування, а її модульна організація уможливорює поступове доповнення новими методами без перебудови архітектури. Одночасне формування оцінки стану, її достовірності та прогнозу залишкового ресурсу надає операторам узгоджену інформаційну основу для планування технічного обслуговування з урахуванням ризику. Потенційними об'єктами застосування є системи прогностичного обслуговування турбовентиляторних двигунів, промислових турбін, підшипників, редукторів

та іншого критичного обладнання авіаційної, енергетичної й обробної галузей, де раннє виявлення деградації безпосередньо зменшує кількість незапланованих простоїв.

## **8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації**

Дисертаційна робота є завершеним і методично послідовним дослідженням, мету якого досягнуто, а задачі виконано в повному обсязі. Водночас вважаю за доцільне винести на обговорення кілька положень.

1. Метод попередньої обробки та підготовки даних (підрозділ 3.1) передбачає операцію обробки пропущених значень, однак, як зазначає сам здобувач (підрозділ 4.1.2), у наборі C-MAPSS, отриманому в контрольованих умовах стендового моделювання, пропуски відсутні, тож ця операція на практиці не була задіяна, а технологію апробовано на повному наборі параметрів моніторингу без пропусків. Поведінка технології за умов часткової втрати чи спотворення сенсорних каналів, характерних для реальних систем моніторингу у роботі не досліджувалася. Оцінка стійкості діагностичного висновку до деградації якості вхідних даних і механізми її забезпечення посилили б обґрунтування промислової придатності технології.

2. Формування диференційованих часових представлень спирається на фіксовані значення ключових гіперпараметрів, а саме довжину ковзного вікна, крок зсуву та поділ вікна на інтервали статистичної агрегації (підрозділ 4.1.2). Ці параметри безпосередньо визначають баланс між обсягом контексту, доступного компонентам технології, та оперативністю виявлення деградації, оскільки збільшення вікна підвищує інформативність представлення, але відсуває момент першого впевненого розпізнавання несправності. Аналіз чутливості якості діагностування та запізнення виявлення до вибору довжини й кроку вікна, а також глибини агрегації, у роботі не наведено, хоча для систем раннього попередження саме цей компроміс нерідко є визначальним.

3. Діагностичний висновок технології обмежується оцінкою стану об'єкта, достовірністю прийнятого рішення та прогнозованим залишковим

ресурсом і не супроводжується поясненням того, які саме параметри чи компоненти зумовили результат діагностування. Доповнення технології засобами інтерпретації діагностичного висновку підвищило її прикладну цінність для операторів систем прогностичного обслуговування.

4. Двоетапний процес налаштування технології передбачає систематичний перебір значної кількості конфігурацій. Водночас обчислювальну вартість самого етапу підбору конфігурації не оцінено, хоча для режиму виконання діагностування таку оцінку наведено докладно. Це ускладнює висновок про масштабованість процедури налаштування для об'єктів з більшою кількістю компонентів та режимів.

Висловлені зауваження мають дискусійний і рекомендаційний характер, не стосуються основних наукових положень роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

## **9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Шевченка Дмитра Олександровича є завершеним самостійним дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій. Його суть полягає у підвищенні якості та забезпеченні стійкості технічного діагностування елементів динамічних систем за складних операційних режимів, що досягнуто розробкою багаторівневої інформаційної технології, яка інтегрує комплементарні підходи машинного навчання з ансамблюванням діагностичних рішень. Сформульовані автором положення, висновки та узагальнення підтверджено результатами проведених досліджень.

Зважаючи на актуальність, наукову новизну, рівень обґрунтованості та практичну значущість результатів, дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (у редакції від 01.01.2024

р.), а за оформленням відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Здобувач Шевченко Дмитро Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний рецензент,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
професор кафедри комп'ютерних систем  
та робототехніки ННІ комп'ютерних  
наук та штучного інтелекту  
Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна

Олена ТОЛСТОЛУЗЬКА

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:36:39 01.07.2026

Назва файлу з підписом: Рецензія\_Шевченко\_Толстолузька\_pdf.p7s  
Розмір файлу з підписом: 258.1 КБ

Назва файлу без підпису: Рецензія\_Шевченко\_Толстолузька\_pdf  
Розмір файлу без підпису: 240.8 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ТОЛСТОЛУЗЬКА ОЛЕНА ГЕННАДІЇВНА

П.І.Б.: ТОЛСТОЛУЗЬКА ОЛЕНА ГЕННАДІЇВНА

Країна: Україна

РНОКПП: 2529913061

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 19:23:45  
29.06.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000008CF2000242E1FF06

Тип носія особистого ключа: Незахищений

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.05.20 13:00

Голові разової  
спеціалізованої вченої ради  
Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна  
професору Сергію ЯКОВЛЕВУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

## **РЕЦЕНЗІЯ**

офіційного рецензента, доцента, директора ННІ комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, кандидата технічних наук Узлова Дмитра Юрійовича на дисертаційну роботу Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

### **1. Обґрунтування вибору теми дослідження**

Дисертаційну роботу Шевченка Д. О. присвячено розробці багаторівневої інформаційної технології технічного діагностування елементів динамічних систем за даними моніторингу їх стану під час експлуатації.

Своєчасність обраної теми зумовлена не стільки самим фактом накопичення великих обсягів сенсорних даних засобами Індустрії 4.0, Інтернету речей та систем SCADA, скільки тим, що методичний апарат галузі досяг рівня зрілості, за якого головним обмеженням стає не брак окремих методів діагностування, а їх роз'єднаність та одноцільова спрямованість. Саме тому ключове наукове завдання сьогодні зміщується у площину інформаційно-технологічної інтеграції різнорідних обчислювальних компонентів у єдиний узгоджений процес, здатний формувати повний і стійкий діагностичний висновок. Такий напрям безпосередньо належить до

предметного поля спеціальності 122 Комп'ютерні науки, оскільки об'єктом удосконалення виступає сама інформаційна технологія обробки даних моніторингу, а не лише прикладна модель окремого об'єкта.

Автор від початку орієнтує дослідження на стійкість діагностування в умовах складності та змінності операційних режимів, а не виключно на досягнення граничної точності у контрольованих умовах. Така постановка відповідає реальним потребам експлуатації відповідального обладнання, відмови якого супроводжуються значними економічними втратами та безпековими ризиками. З огляду на викладене тема дисертаційної роботи є актуальною та практично значущою для галузі інформаційних технологій.

## **2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення**

Дисертація є самостійною, завершеною та цілісною науковою працею. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 183 сторінки, у тому числі основний текст на 135 сторінках; список використаних джерел налічує 150 найменувань; робота містить 30 таблиць та 9 рисунків.

Матеріал організовано за принципом послідовного поглиблення: від системного аналізу предметної області та виявлення невирішених проблем до побудови технології, її строгої математичної формалізації та комплексної експериментальної перевірки. Робота вирізняється внутрішньою узгодженістю. Сформульовані у вступі мета й задачі послідовно реалізуються у відповідних розділах, а отримані результати співвідносяться з поставленою метою, що засвідчує методологічну культуру здобувача. Висновки логічно випливають із викладеного матеріалу, достатньо повно його відображають та дають відповідь на поставлені в роботі мету і завдання.

Текст викладено професійною науковою мовою, у стриманому й об'єктивному стилі. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора

філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (у редакції від 01.01.2024 р.), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

### **3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами**

Тематику дисертаційної роботи пов'язано з науково-дослідною роботою «Моделювання інформаційних процесів у складних і розподілених системах» (державний реєстраційний номер 0121U109183, термін виконання 2021–2023 рр.), у виконанні якої здобувач брав участь як виконавець. Це засвідчує плановий характер дослідження та його узгодженість із напрямками наукової діяльності установи.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки та рекомендації мають достатній рівень обґрунтованості й достовірності. Методологічну основу дослідження становить виважене поєднання методів системного аналізу, математичного та імітаційного моделювання, теорії штучного інтелекту та інтелектуальних систем, математичної статистики й теорії ймовірностей, лінійної алгебри та багатовимірного аналізу, теорії нечітких множин, машинного навчання та теорії штучних нейронних мереж, математичної оптимізації, теорії прийняття рішень та аналізу часових рядів, а також методів експериментального дослідження й порівняльного аналізу. Коректність застосування цього апарату не викликає сумнівів.

Обґрунтованість результатів забезпечено тим, що технологію побудовано не довільно, а на основі явно сформульованої системи

фундаментальних принципів, які надають її трирівневій архітектурі цілісність, причому кожен компонент послідовно доведено від змістовного опису до строгої математичної формалізації та програмної реалізації. Така формалізація забезпечує однозначність специфікації розроблених методів і відтворюваність результатів. Достовірність висновків підтверджено експериментальною перевіркою на еталонному наборі даних моделювання деградації турбовентиляторних двигунів NASA C-MAPSS із залученням підмножин різної складності від контрольованого одного операційного режиму до ускладненого багаторежимного сценарію з двома механізмами деградації, а також порівняльним аналізом із широким колом наявних підходів, що в сукупності підтверджує стійкість технології до ускладнення операційних умов. Додатковим аргументом на користь практичної придатності рішення є проведена оцінка обчислювальних ресурсів. Поставлене наукове завдання виконано в повному обсязі.

## **5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна**

Головним науковим результатом роботи є багаторівнева інформаційна технологія технічного діагностування динамічних систем та їх елементів, яка вперше поєднує комплементарні підходи машинного й глибокого навчання з подальшим ансамблюванням діагностичних рішень. Принципова новизна цього результату полягає у переході від поширених гомогенних ансамблів та одноцільових методів до гетерогенної архітектури, що одночасно вирішує задачі класифікації стану, виявлення аномалій та прогнозування залишкового ресурсу, забезпечуючи тим самим повноту діагностичного висновку.

Решта одержаних результатів розвиває та конкретизує цю ідею. Удосконалено метод попередньої обробки та підготовки даних за рахунок формування диференційованих часових представлень, узгоджених із вимогами різнорідних обчислювальних компонентів технології. Удосконалено метод класифікації стану об'єктів шляхом ансамблювання контрольованих та неконтрольованих методів класичного машинного

навчання, що дозволяє поєднати переваги навчання з учителем зі здатністю неконтрольованих методів виявляти раніше невідомі типи відхилень. Дістав подальшого розвитку метод нечіткої кластеризації стану на основі агентно-орієнтованого підходу завдяки запровадженню кількох режимів функціонування.

За змістом дисертація розкриває обрану тему та в цілому вирішує поставлену мету і завдання. Сукупність одержаних наукових положень є новою і має самостійне значення для розвитку інформаційних технологій діагностування.

## **6. Дотримання академічної доброчесності**

На підставі вивчення тексту дисертації, наукових праць здобувача та результатів перевірки роботи на наявність текстових запозичень (звіт подібності системи Strikerplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, є результатом власних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, фабрикації, компіляції чи плагіату. Використані ідеї, результати й тексти інших авторів супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела. Здобувач прозоро задекларував допоміжний характер застосування систем штучного інтелекту, чітко розмежувавши власний науковий внесок. Отже, дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

## **7. Практичне значення одержаних результатів**

Розроблені методи, математичні моделі та багаторівнева інформаційна технологія можуть бути використані при створенні систем технічного діагностування та прогностичного обслуговування для турбовентиляторних двигунів, промислових турбін, підшипників, редукторів та іншого критичного обладнання в авіаційній, енергетичній та обробній промисловості. Їх впровадження сприяє автоматизації моніторингу стану обладнання та ранньому виявленню деградації, що дозволяє знизити кількість

незапланованих простоїв та оптимізувати витрати на технічне обслуговування. Завдяки одночасному вирішенню задач класифікації стану та прогнозування залишкового ресурсу технологія надає операторам комплексну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень.

Слід окремо відзначити, що модульна та розширювана побудова технології робить її придатною не лише для безпосереднього прикладного застосування, а й для використання як основи для подальшої інтеграції нових методів і моделей у науково-дослідній роботі та в освітньому процесі за відповідними дисциплінами галузі інформаційних технологій.

## **8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації**

Дисертаційна робота справляє враження завершеного й методично грамотного дослідження, мету якого досягнуто, а задачі виконано в повному обсязі. Разом із тим у процесі рецензування виникли окремі положення, які доцільно обговорити в межах наукової дискусії та які можуть окреслити напрями подальших досліджень.

1. Технологія обчислює достовірність рішення про стан об'єкта, проте прогноз залишкового ресурсу подається як точкова оцінка. Попри відзначену в роботі безпечну стратегію систематичного недооцінювання залишкового ресурсу, кількісна характеристика невизначеності для окремого прогнозу (прогнозні інтервали чи інтервали довіри) не надається. Для систем прогностичного обслуговування оцінка невизначеності прогнозу залишкового ресурсу є важливою для планування технічного обслуговування з урахуванням ризику, тож доповнення нею діагностичного висновку підвищило б його практичну цінність.

2. Експериментальне дослідження виконано на двох підмножинах набору C-MAPSS – FD001 та FD004, що відповідають крайнім рівням складності. При переході між ними одночасно змінюються два чинники: кількість операційних режимів та кількість механізмів деградації. Залучення проміжних підмножин FD002 та FD003 дозволило б розмежувати внески цих

чинників і переконливіше обґрунтувати висновок про стійкість технології саме до ускладнення операційних режимів.

3. Контрольовані методи рівня діагностування та метод прогнозування залишкового ресурсу потребують для навчання розмічених траєкторій повного циклу «від справного стану до відмови». Для відповідального обладнання отримання таких даних на практиці є складним і витратним, оскільки експлуатація до відмови є небажаною. У роботі не розглянуто застосовність технології та можливу зміну якості діагностування в умовах обмеженої доступності розмічених даних повного циклу деградації, хоча саме цей чинник нерідко є визначальним для впровадження методів на основі даних.

4. Уніфікований апарат формування часових представлень побудовано у часовій області й апробовано на операційних параметрах турбовентиляторних двигунів. Водночас серед заявлених об'єктів застосування технології названо підшипники та редуктори, технічне діагностування яких традиційно ґрунтується на аналізі вібросигналів у частотній області. Поширення технології на такі об'єкти потребуватиме доповнення набору представлень частотно-доменними ознаками, що в роботі не передбачено. Урахування цього аспекту посилює обґрунтування заявленої широти застосування технології.

## **9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Шевченка Дмитра Олександровича на тему «Інформаційна технологія технічного діагностування елементів динамічних систем на основі даних моніторингу» є завершеною самостійною науковою працею, в якій вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій, а саме підвищення якості та забезпечення стійкості технічного діагностування елементів динамічних систем в умовах складності операційних режимів шляхом розробки багаторівневої інформаційної технології на основі інтеграції

комплементарних підходів машинного навчання з ансамблюванням діагностичних рішень. Висловлені автором наукові положення, висновки та узагальнення підтверджуються отриманими результатами дослідження.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та практичною значущістю дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (у редакції від 01.01.2024 р.), а її оформлення – вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Здобувач Шевченко Дмитро Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний рецензент,  
кандидат технічних наук,  
доцент закладу вищої освіти кафедри,  
директор ННІ комп'ютерних наук та  
штучного інтелекту Харківського  
національного університету імені  
В.Н. Каразіна

Дмитро УЗЛОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:37:13 01.07.2026

Назва файлу з підписом: Рецензія\_Шевченко\_Узлов.docx.p7s

Розмір файлу з підписом: 42.5 КБ

Назва файлу без підпису: Рецензія\_Шевченко\_Узлов.docx

Розмір файлу без підпису: 25.2 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: УЗЛОВ ДМИТРО ЮРІЙОВИЧ

П.І.Б.: УЗЛОВ ДМИТРО ЮРІЙОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2613714758

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 21:03:27 27.06.2026

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000D8C04B01EFC79507

Тип носія особистого ключа: Незахищений

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.05.20 13:00