

ВІДГУК

офіційного опонента Стрижака Олександра Євгеновича

на дисертаційну роботу

Щеглова Владислава Романовича

на тему «Моделі, метод та засоби інтелектуальної системи діагностування промислового обладнання з використанням індустріального інтернету речей і цифрових двійників»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

у галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дисертації.

Актуальність дисертаційної роботи визначається необхідністю підвищення надійності промислового обладнання, що функціонує в середовищі індустріального інтернету речей (ІІІТ). Використання традиційних засобів технічного діагностування в умовах зростаючої складності індустріальних систем не завжди дозволяє своєчасно виявляти приховані відмови, що впливає на загальний рівень експлуатаційної безпеки та готовності.

Автор обґрунтовано звертає увагу на існування суперечності між необхідністю забезпечення високого рівня готовності і безпечності промислового ІІІТ-обладнання, параметри якого динамічно змінюються під впливом деградації та умов експлуатації, та обмеженими можливостями існуючих систем діагностування, які базуються на статичних моделях без використання технології цифрових двійників, механізмів оперативного донавчання і врахування досвіду аналогічних систем. Наявні підходи, як правило, не забезпечують комплексного вирішення цього протиріччя, що призводить до накопичення прихованих відмов та зниження точності оцінювання готовності.

У зв'язку з цим розроблення формалізованих моделей, методу та засобів інтелектуальної системи діагностування промислового обладнання з

використанням індустріального інтернету речей і цифрових двійників є актуальним і важливим науково-прикладним завданням у галузі інформаційних технологій.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Проведений аналіз дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок про належний рівень обґрунтованості отриманих результатів. Автор застосував апарат теорії множин, теорії надійності, марковських ланцюгів з неперервним часом, методів онтологічного інжинірингу та структурно-автоматних моделей.

Сформульоване в роботі наукове завдання вирішено повною мірою, що свідчить про необхідний рівень володіння здобувачем методологією наукових досліджень.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в такому:

- розроблення теоретико-множинної моделі та архітектури інтелектуальної системи діагностування промислового обладнання систем індустріального інтернету речей, яка формалізує процеси локального та федеративного донавчання цифрового двійника для динамічного обчислення функції готовності та коригування параметрів оперативного контролю;

- удосконалення базових та мультифрагментних моделей готовності відновлювального обладнання, що утворюють множину на базі розробленого онтологічного класифікатора та враховують зміну достовірності діагностування після відмов;

- удосконалення методу верифікації та валідації марковських моделей систем діагностування шляхом застосування багатоступеневої перехресної перевірки та урахування математичної «жорсткості» матриць інтенсивностей переходів для мінімізації обчислювальних похибок.

Достовірність результатів підтверджується застосуванням методів системного аналізу, теорії ймовірностей та марковських випадкових процесів,

теоретико-множинних моделей, теорії графів та структурно-автоматних моделей, методів онтологічного інжинірингу та теорії прийняття рішень. Адекватність отриманих результатів також підтверджується результатами симуляційного моделювання.

Цінність роботи визначається тим, що в ній на розв'язано актуальне науково-прикладне завдання, яке полягає у розробленні моделей, методу та засобів оцінювання і забезпечення надійності промислового обладнання систем індустріального інтернету речей на основі інтелектуальних систем діагностування з використанням цифрових двійників та режимів донавчання. Запропонований комплексний підхід дозволяє формалізувати динаміку зміни достовірності діагностування та перейти від традиційного статичного до адаптивного оцінювання готовності критичних систем, мінімізуючи ризики виникнення та накопичення прихованих відмов.

Практична цінність дисертації посилюється тим, що отримані теоретичні положення доведено до рівня практичного використання у вигляді еталонної ІТ-архітектури та спеціалізованого програмного інструментарію («R-SIM»). Обґрунтованість та працездатність запропонованих рішень підтверджується їх успішним впровадженням на підприємстві ТОВ «НВП «РАДІКС» для підвищення ефективності процесів верифікації та валідації інформаційно-керуючих систем малих модульних реакторів, а також використанням у навчальному процесі та при виконанні низки державних науково-дослідних робіт у Національному аерокосмічному університеті «ХАІ».

Отже, в дисертаційній роботі поставлене 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 Щеглова В.Р. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності **123 Комп'ютерна**

інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Комп'ютерна інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям – Інформаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Щеглова Владислава Романовича 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 та відповідає вимогам наукового стилю.

Логіка викладення матеріалу є чіткою та послідовною: дослідження розгортається від аналізу предметної області та постановки задач до формалізації математичних моделей, розроблення методу та їх експериментальної перевірки. Така структура забезпечує цілісність сприйняття результатів. Матеріал викладено у доступній формі для фахівців відповідної галузі, при цьому складні теоретичні положення супроводжуються достатніми поясненнями, розрахунками та графіками. Автор коректно та обґрунтовано використовує спеціалізовану термінологію у сфері комп'ютерної інженерії, індустріального інтернету речей, надійності систем та марковського моделювання. Стиль викладення характеризується лаконічністю, точністю формулювань і аргументованістю.

Змістовно дисертація враховує наукові результати, що були опубліковані у фахових та інших виданнях.

Текст дисертації за змістом її відповідність вимогам, щодо оприлюднення наукових робіт, повністю відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України щодо оформлення дисертацій (Наказ № 40 від 12.01.2017 р.).

Структура роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 225 сторінок, з яких основний текст займає 182 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано науково-прикладне завдання, мету, об'єкт і предмет дослідження, наведено методи дослідження, а також відображено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми забезпечення готовності промислового обладнання та обґрунтовано необхідність використання інтелектуальних систем діагностування (ІСД) на основі цифрових двійників з донавчанням.

У другому розділі розроблено теоретико-множинну модель архітектури ІСД та формалізовано онтологічний класифікатор і комплекс базових моделей готовності.

У третьому розділі розроблено та досліджено мультифрагментні марковські моделі, а також удосконалено метод їх багатоступеневої перехресної верифікації та валідації.

У четвертому розділі наведено еталонну архітектуру розгортання ІСД із застосуванням цифрових двійників, результати програмної реалізації інформаційної технології у вигляді інструментального засобу (R-SIM), проаналізовано результати симуляційного моделювання та оцінено ефективність розроблених рішень.

У висновках підведено підсумки по основних результатах дослідження та сформульовано наукові й практичні здобутки.

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

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»); 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, віднесеному до першого квартиля (Q1) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Публікації повною мірою відображають зміст дисертаційної роботи та підтверджують отримані наукові результати. Аналіз змісту публікацій та дисертації свідчить про дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності. Використання результатів інших авторів супроводжується відповідними посиланнями на джерела, запозичення оформлені коректно. У публікаціях, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача є визначальним.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. На мій погляд назва дисертаційної роботи «Моделі, метод та засоби інтелектуальної системи діагностування промислового обладнання з використанням індустріального інтернету речей і цифрових двійників» використовує 15 слів, що досить багато. Її можна було визначити більш скорочено, типу «Теоретичні та технологічні засади інтелектуального діагностування обладнання».

2. При розгляді властивостей категорії «цифровий двійник» було б доцільне порівняти їх з категорією «програмний симулятор», на засадах яких з'явилася ця категорія. Тим більш, що у тексті дисертації використовується концепт «симулювання».

3. Фраза «...семантичними онтологіями...», яка представлена на сторінках 20 та 21 є не досить коректною, тому що категорія « онтологія» вже визначає за означенням певну семантику, тим більш що по тексту дисертації ця категорія використовується здобувачем з токи зори її класичного визначення без прикметника «семантична».

4. У другому розділі при описі розробленого онтологічного класифікатора базових моделей (підрозділ 2.2.2) недостатньо чітко формалізовано типи структур даних, які використовуються для його програмного подання. Більш глибока деталізація формату зберігання та кластеризації ознак дозволила б точніше розкрити механізми логічного виведення та вибору цільових моделей у системі підтримки прийняття рішень.

5. Запропонована у підрозділі 2.1.1 теоретико-множинна модель системи є змістовною та обґрунтованою, проте формальний опис цифрового двійника як окремого елемента множини потребує розширення. Варто було б детальніше визначити механізми та методи семантичної інтерпретації накопичених статистичних даних (телеметрії), що перетворюють їх на повноцінну цифрову репліку, а не лише на масив показників.

6. При описі інтелектуальної системи діагностування (підрозділ 1.2.2) автору варто було б глибше розкрити критерії самої «інтелектуальності» та чіткіше розмежувати процеси: як саме отримується та навчається початкова (базова) версія моделі діагностування (наприклад, з вчителем на історичних датасетах) у порівнянні з подальшим її оперативним донавчанням.

7. Зважаючи на те, що об'єктом дослідження є обладнання систем індустріального інтернету речей (IIoT), у запропонованих марковських моделях (розділ 3) недостатньою мірою враховано вплив надійності самих розподілених комунікаційних каналів та гетерогенних вузлів зв'язку, які також можуть впливати на затримки або втрату телеметрії при федеративному навчанні.

Всі наведені зауваження носять стилістичний та рекомендаційний характер й ніяк не знижують наукової та прикладної цінності роботи, та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Щеглова Владислава Романовича на тему «Моделі, метод та засоби інтелектуальної системи діагностування промислового обладнання з використанням індустріального інтернету речей і цифрових двійників» 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 розвитку галузі інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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.

Вважаю що здобувач Щеглов Владислав Романович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент:

Головний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту
озброєння та військової техніки
Збройних Сил України,
доктор технічних наук, професор

Олександр СТРИЖАК