

РЕЦЕНЗІЯ

Малєєвої Ольги Володимирівни

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.

Подальший розвиток виробничих підприємств у рамках концепцій Індустрії 4.0 та 5.0 нерозривно пов'язаний із розгортанням складних кіберфізичних комплексів та систем індустріального інтернету речей (ІІІТ). В умовах безперервного ускладнення технологічних та логістичних процесів критичного значення набуває управління експлуатаційними ризиками та забезпечення високої функційної безпеки обладнання. Будь-які простоти через непередбачувані відмови призводять до значних економічних втрат і порушення безперебійності роботи підприємства.

Сучасні системи технічного діагностування, що базуються на статичних моделях, часто не здатні адаптуватися до динамічних змін умов експлуатації та деградації матеріалів. У зв'язку з цим виникає суперечність між об'єктивною необхідністю забезпечення високого рівня готовності ІІІТ-обладнання та наявним інструментарієм, який не повною мірою використовує можливості системного та імітаційного моделювання, зокрема технологій цифрових двійників і механізмів оперативного донавання. Наслідком цього є накопичення прихованих відмов, що унеможлиблює точне оцінювання ризиків та оптимізацію стратегій технічного обслуговування.

З огляду на наведене, розв'язання науково-прикладної задачі щодо розроблення комплексних моделей, методу та засобів інтелектуальної системи діагностування промислового обладнання з використанням індустріального інтернету речей і цифрових двійників є своєчасним. Тематика дисертаційної роботи Щеглова Владислава Романовича є актуальною, оскільки спрямована на мінімізацію ризиків виникнення прихованих відмов та підвищення ефективності прийняття рішень, що повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку системного моделювання та комп'ютерної інженерії.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові результати дисертаційної роботи є обґрунтованими. Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним та комплексним застосуванням апарату теорії множин (для формалізації архітектури), теорії марковських випадкових процесів, структурно-автоматних моделей, а також методів імітаційного моделювання. Важливим аспектом, що підтверджує достовірність, є використання багатоступеневої перехресної верифікації розроблених моделей та збіг результатів аналітичних розрахунків із даними симуляційних експериментів у створеному програмному середовищі R-SIM.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у формуванні інтегрованого підходу до системного моделювання та управління експлуатаційною готовністю промислового IoT-обладнання, який охоплює:

- розроблення теоретико-множинної моделі та архітектури інтелектуальної системи діагностування на основі цифрових двійників, що забезпечує адаптивне керування параметрами контролю за рахунок механізмів локального та федеративного донавчання;
- удосконалення комплексу базових та мультифрагментних марковських моделей готовності на базі розробленого онтологічного класифікатора, які дозволяють кількісно враховувати динаміку зміни достовірності діагностування та ефективно оцінювати ризики прихованих відмов;
- розвиток методу багатоступеневої перехресної верифікації та валідації стохастичних моделей із залученням апарату структурно-автоматного моделювання та системним урахуванням математичної «жорсткості» для безпомилкового вибору чисельного методу розв'язання.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» в рамках виконання державних науково-дослідних робіт на замовлення МОН України: «Методи, засоби та технології моделювання, розроблення, розгортання та забезпечення гарантоздатності мобільних інтелектуальних систем для об'єктів критичної інфраструктури» (№ Д/Р 0124U003250, 2024-теперішній час), «Наукові засади і методи забезпечення гарантоздатності флотів БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних і військових об'єктів» (№ Д/Р 0121U112172, 2021–2023 рр.), «Методи, моделі та інформаційні технології підвищення надійності та безпечності складних IT-систем на етапах розроблення та впровадження» (№ Д/Р 0121U113842, 2021–2023 рр.), «Методи, програмно-апаратні

засоби та технології забезпечення гарантоздатності інтелектуальних систем індустріального інтернету речей» (№ Д/Р 0122U001065, 2022–2023 рр.) під керівництвом доктора технічних наук, професора Морозової Ольги Ігорівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання «розроблення 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» 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 викладена українською мовою з дотриманням усіх вимог академічного наукового стилю. Матеріал характеризується високим рівнем системності та логічної послідовності: дослідження органічно розгортається від ґрунтового аналізу предметної області до строгої формалізації математичних моделей і наступної експериментальної перевірки запропонованих рішень.

Складні теоретичні положення подано з належним рівнем формалізації, що гармонійно доповнюється вичерпними поясненнями, результатами симуляційного моделювання та наочним графічним матеріалом, забезпечуючи цілісне розуміння роботи. Здобувач вільно та коректно оперує сучасною термінологічною базою у сферах комп'ютерної інженерії, індустріального інтернету речей, теорії надійності та стохастичного моделювання. Загалом стиль тексту відзначається лаконічністю, високою точністю формулювань та переконливою науковою аргументованістю.

Оформлення та відповідність вимогам: Робота 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 наведено комплексне обґрунтування актуальності теми, сформульовано науково-прикладне завдання, визначено мету, об'єкт, предмет і методи дослідження, а також чітко відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

Перший розділ присвячено системному аналізу сучасного стану проблеми управління експлуатаційною готовністю промислового обладнання. У ньому ґрунтовно доведено необхідність переходу до інтелектуальних систем діагностування (ІСД) на базі цифрових двійників з механізмами донавчання для мінімізації ризиків виникнення прихованих відмов.

У другому розділі побудовано формалізовані концептуальні моделі об'єкта дослідження: розроблено теоретико-множинну модель архітектури ІСД та запропоновано онтологічний класифікатор, який слугує базисом для формування комплексу базових моделей готовності з урахуванням різних стратегій керування.

Третій розділ містить розроблення та дослідження стохастичних мультифрагментних марковських моделей. Особливу увагу тут приділено удосконаленню методу їх багатоступеневої перехресної верифікації та валідації, що гарантує високу точність оцінювання експлуатаційних ризиків та надійності системи.

У четвертому розділі результати теоретичних досліджень доведено до рівня практичної реалізації у вигляді еталонної ІТ-архітектури розгортання ІСД із застосуванням цифрових двійників. Наведено опис створеного інструментального засобу (R-SIM) та проаналізовано результати імітаційного (симуляційного) моделювання, які підтверджують загальну ефективність розроблених рішень.

У висновках узагальнено підсумки дисертаційного дослідження та сформульовано ключові наукові й практичні здобутки здобувача.

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.

Результати дисертаційного дослідження пройшли належну апробацію у фаховому науковому середовищі, зокрема були представлені та обговорені на 3 наукових фахових конференціях.

Опубліковані праці вичерпно відображають зміст дисертації, підтверджуючи наукову новизну та обґрунтованість отриманих результатів. Детальний аналіз тексту дисертації та супутніх публікацій засвідчує дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності: використання здобутків інших дослідників супроводжується коректними бібліографічними посиланнями, будь-які порушення академічної етики чи некоректні запозичення відсутні.

У наукових працях, підготовлених у співавторстві, особистий внесок здобувача є визначальним і полягає у безпосередньому розробленні концептуальних та математичних моделей, алгоритмізації процесів, проведенні симуляційних експериментів та аналізі отриманих результатів.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Слід вказати й на окремі недоліки та зробити такі зауваження:

1. У дисертаційній роботі ґрунтовно досліджено вплив донавчання цифрового двійника на мінімізацію прихованих відмов. Але поза увагою залишилося питання оцінювання ризиків від хибних спрацювань засобів діагностування. Надмірна чутливість інтелектуальних систем діагностування може призводити до необґрунтованих зупинок обладнання для локального донавчання та здатна спричинити значні економічні втрати, тому включення вартісних метрик до критеріїв оптимізації суттєво посилило б практичну складову розроблених марковських моделей.
2. В роботі робиться вагомий акцент на підвищенні достовірності діагностування завдяки донавчанню цифрового двійника. Автору варто було б навести більш

грунтовні експериментальні докази або результати оцінювання на реальних датасетах, які б кількісно підтверджували механізм і метрики зростання цієї достовірності у промислових умовах.

3. Запропонована дворівнева архітектура передбачає використання механізмів федеративного навчання для глобальної агрегації досвіду парку обладнання. Однак, з точки зору системного моделювання, у роботі недостатньо досліджено ризики, пов'язані з гетерогенністю умов експлуатації. Аналогічне промислове обладнання на різних виробничих ділянках може мати різні профілі навантаження та патерни деградації, тому незважене об'єднання їхніх параметрів у єдину глобальну модель здатне призвести до локального зниження точності діагностування для окремих вузлів та появи нових експлуатаційних ризиків.

4. Розроблений інструментальний засіб (R-SIM) дозволяє оцінювати показники експлуатаційної готовності системи. Водночас, враховуючи спрямованість роботи на промислові підприємства, практична цінність роботи зросла б, якби інструментарій включав імітаційний модуль оцінювання економічних або експлуатаційних ризиків від простоїв обладнання, зумовлених часом, витраченим на локальне чи федеративне донавчання моделей.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що 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.

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

Рецензент:

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних наук
та інформаційних технологій
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

Ольга МАЛЄЄВА