

Голові разової спеціалізованої
вченої ради
в Національному університеті
«Одеська політехніка»
доктору технічних наук, професору
ПАВЛЕНКУ В.Д.

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки Черкаського державного технологічного університету ПАЛАГІНА Володимира Васильовича на дисертацію ПРОКОФЬЄВА Андрія Юрійовича за темою: **«Методи аналізу точності та достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в прикладних задачах їх моделювання та управління»**, подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного університету «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеню доктора філософії з галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Сучасні об'єкти (та системи в цілому) дослідження стають дедалі складнішими, а умови їх функціонування в різних галузях науки і техніки стають більш вимогливими, що підвищує важливість моделювання як самостійної мети дослідження, так і у розв'язуванні задач управління, діагностики та моніторингу. Переважну більшість зазначених вище систем складають *динамічні* системи, для формалізованого опису яких, зазвичай, широко використовуються диференціальні та інтегральні рівняння, що, в такому випадку, являють собою математичні моделі (ММ) динамічних систем. Проте, обмежена точність та достовірність числової реалізації диференціальних та інтегральних рівнянь із застосуванням засобів обчислювальної техніки, створює суттєві перешкоди при розв'язуванні прикладних задач моделювання динамічних систем та управління ними, зокрема, в таких важливих галузях як: машинобудування, енергетика, хімія та нафтохімія, транспорт, переробна промисловість тощо.

Останнім часом значну частку досліджень в області інформаційних технологій спрямовано на підвищення точності машинних методів реалізації ММ систем, які вивчаються теоретично, або впроваджуються на практиці. Сталий інтерес викликає проблема прогнозування точності розв'язків рівнянь, що утворюють відповідні ММ. Вирішення цієї задачі має ключове значення для багатьох практичних сфер, оскільки дозволяє ефективніше застосовувати обчислювальні методи на практиці для аналізу, прогнозування та управління у різних галузях.

Дисертаційну роботу ПРОКОФЬЄВА А. Ю. присвячено створенню методів прогнозування точності і аналізу достовірності обчислювальної реалізації ММ динамічних систем, представлених у класах диференціальних та інтегральних рівнянь – при розв'язуванні прикладних задач моделювання і управління на їх

основі, шляхом визначення показників якості задіяних комп'ютерних та програмно алгоритмічних інструментальних засобів. Тому тема дисертаційної роботи здобувача ПРОКОФЬЄВА А. Ю. **«Методи аналізу точності та достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в прикладних задачах їх моделювання та управління»**, є *актуальною* і має важливе теоретичне і практичне значення для області інженерії програмного забезпечення.

Актуальність роботи засвідчена, зокрема, наведеним в роботі позитивним висновком акту про впровадження результатів досліджень в діюче виробництво, а також підтверджена результатами та активною участю здобувача в науково-дослідній роботі кафедри.

2. ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ТЕМАМИ

Дисертаційну роботу ПРОКОФЬЄВА А. Ю. виконано на кафедрі комп'ютеризованих систем та програмних технологій Навчально-наукового Інституту комп'ютерних систем Національного університету «Одеська політехніка», в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів» №210-63, 2021 — 2025 р. р. (номер держ. реєстрації 0122U002161) Національного університету «Одеська політехніка». Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри.

Зміст дисертаційної роботи, її основні задачі відповідають пріоритетним тематичним напрямкам наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні (Постанова Кабінету Міністрів України від 30.04.2024 р. №476), згідно пп. 1.2.1.1, 1.2.1.4, 1.2.4.6 і 1.2.1.7 «Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2019–2023 роки» (постанова Президії НАН України від 30.01.2019 р. № 30).

3. НАУКОВА НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Виконана дисертаційна робота своїми результатами вносить вклад в розвиток відповідних розділів математичного моделювання лінійних та нелінійних динамічних об'єктів з неперервними характеристиками, а також управління ними. В результаті проведеного дослідження автором було отримано нові наукові та практичні результати.

Вперше, на рівні дисертаційних досліджень за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення, було:

— запропоновано метод ранжирування за похибкою при розв'язуванні задач моделювання динамічних систем та управління ними, який, на відміну від відомих, зокрема, методів оцінювання точності числового розв'язування рівнянь математичної фізики, дозволяє попередньо (до початку процесу комп'ютерного розв'язування задачі) виконати розрахунок залежності похибки розв'язку від характеристик первинних похибок із залученням класифікації за точністю задач,

що розв'язуються;

- запропоновано метод контролю достовірності обчислювальної реалізації ММ динамічних систем зі зростаючою точністю, який, на відміну від методів «прогноз – корекція», забезпечує послідовне отримання значення шуканої функції стану динамічної системи з порядком точності локальної похибки, який (порядок) збільшується;

- запропоновано методи контролю достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в процесах їх моделювання та управління, засновані на ідеї введення контрольного алгоритму, який виконується на етапі числового розв'язування поставленої (основної) задачі, але такого, що простіший за основний; причому, запропоновані методи контролю достовірності, дозволяють досягнути підвищення останньої за рахунок застосування в контрольному алгоритмі інформації, яку вже проконтрольовано на попередніх кроках основного алгоритму (екстраполяційний метод), або дозволяють організувати неявний контроль, що забезпечує зменшення діапазону відхилення величини, яка контролюється від контрольної, тобто дозволяють знизити рівень шуму (інтерполяційний метод);

- запропоновано критерії щодо прийняття рішення про наявність або відсутність похибки (збою) в основному обчислювальному алгоритмі розв'язування задач моделювання динамічних систем та управління ними, що дозволило сформулювати систему прийняття рішень при контролі достовірності (яка ґрунтується на основі уведених поняттях міри точності обчислень та допустимої області значень цієї міри), а також розробити адаптивні методи контролю достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем, які забезпечують визначення параметрів контрольного алгоритму з умови мінімуму певної міри близькості результатів, отриманих за контрольним та основним алгоритмами.

З метою отримання наукових та практичних результатів автором дисертаційної роботи було поставлено і розв'язано такі задачі:

- розглянуто існуючі підходи до математичної формалізації динамічних систем в задачах їх моделювання і управління, в результаті чого показано особливості опису динамічних систем моделями у вигляді диференціальних та інтегральних рівнянь різних типів;

- виконано аналіз методів числової реалізації диференціальних та інтегральних рівнянь як математичних моделей динамічних систем, а також похибок, які виникають при цьому;

- розроблено метод ранжирування за похибкою для оцінки точності розв'язування задач моделювання динамічними системами та управління ними; — побудовано (на основі методу ранжирування за похибкою) оцінки «знизу» функцій розподілу неусувної похибки реалізації математичних моделей динамічних об'єктів, представлених диференціальними та інтегральними рівняннями, в задачах моделювання і управління;

- розроблено методи (екстраполяційний, інтерполяційний та адаптивний) контролю достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в процесах їх моделювання та управління;

— опрацьовано досвід практичного застосування методів ранжирування за похибкою та контролю достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в задачах їх моделювання та управління.

Висновки здобувача викладено лаконічно та змістовно. Наукову новизну дослідження сформульовано автором самостійно з належним рівнем обґрунтованості.

4. КОРОТКИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНОГО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

Зміст дисертації має логічний, послідовний виклад матеріалу, достатню аргументацію та виразну візуалізацію завдяки представленню основних результатів роботи у вигляді рисунків, таблиць та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, надано загальну характеристику роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, наведено основні наукові та практичні результати, які виносяться на захист.

У **першому розділі** наведено огляд публікацій за темою дослідження, розглянуто причини появи протиріччя, яке полягає в тому, що за наявності добре розвинутої модельної та методологічної підтримки засобів математичного моделювання промислово важливих та природно значимих динамічних систем, недостатній розвиток набули питання оцінки точності та достовірності розв'язків відповідних рівнянь як моделей динамічних систем, а також виявлення збоїв (завад) в обчислювальному процесі.

Зокрема, у першому розділі показано, що переважна більшість промислових (технологічних) та природно важливих процесів і об'єктів характеризуються змінними в часі поведінкою та станами, тобто являють собою динамічні системи. Виконано аналіз підходів до математичної формалізації (тобто складання ММ) динамічних систем. Визначено, що адекватними математичними моделями динамічних систем слід вважати диференціальні та інтегральні рівняння, які є формалізованими аналогами природної поведінки динамічних систем.

Проведено аналіз методів розв'язування диференціальних та інтегральних рівнянь різних типів, що застосовуються в якості ММ динамічних систем. Також проаналізовано похибки, які виникають при числовому розв'язуванні відповідних диференціальних та інтегральних рівнянь, характер цих похибок та шляхи зменшення чи усунення останніх.

Крім того розглянуто переваги і недоліки алгоритмічних та програмно-апаратних засобів, які застосовуються при розв'язуванні задач моделювання динамічних систем та пошуку законів управління ними.

Сформульовано постановку задачі дослідження, яка полягає у подальшому розвитку методів забезпечення (прогнозування) необхідної точності та гарантованої достовірності реалізації ММ динамічних систем в прикладних задачах їх дослідження.

Другий розділ присвячено розробці методу ранжирування за похибкою для оцінки точності розв'язування задач моделювання динамічних систем та

управління ними.

При цьому виконано аналітичну формалізацію процедури ранжирування на основі апарату диференціальних і інтегральних рівнянь в задачах моделювання та управління. Розглянуто первинні похибки числових розв'язків рівнянь, які складають ММ динамічних систем, та природу їх утворення.

Виконано аналіз машинних (наближених) розв'язків рівнянь, які складають ММ динамічних систем, а також можливість побудови оцінок зверху функції розподілу похибок при машинній реалізації ММ динамічних систем.

Побудовано оцінки «знизу» для законів розподілу неусувної похибки (для абсолютних та відносних похибок), які базуються на застосуванні гарантованих оцінок.

В результаті запропоновано процедуру методу ранжирування за похибками при реалізації ММ динамічних систем в задачах моделювання та управління ними. На відміну від застосування відомої теорії чутливості або проведення більш точних обчислень при розв'язуванні задачі (що потребує необхідності більш громіздких розрахунків, які можна порівняти за обсягом обчислень з розв'язком поставленої задачі або, навіть такі, що перевищують цей обсяг), використання запропонованих аналітичних оцінок у вигляді нерівностей слід розглядати економічним (в смислі трудомісткості обчислень) та достатнім (за абсолютними значеннями) для подальшого аналізу та прийняття рішення щодо оцінки точності отриманого розв'язку.

Проведено тестове дослідження запропонованого методу ранжирування за похибками.

Третій розділ присвячено розробці методів контролю достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в процесах їх моделювання та управління.

Автором обґрунтовано, що у реальних системах моделювання чи управління процеси обчислень неминуче супроводжуються різного роду завадами та похибками. Так, у разі числового аналізу рівнянь, або інших математичних залежностей динаміки, що утворюють ММ динамічної системи на цифровій машині, похибки розв'язування цих рівнянь, крім усього, можуть бути спричинені збоями та відмовами в роботі апаратури. В дисертаційній роботі розглядаються, зокрема, спотворення оброблюваної та управляючої інформації під впливом первинних причин, що самоусуваються (неправильне спрацьовування двійкових елементів апаратури, завади, коливання напруги джерел живлення тощо), причому таких збоїв, що мають випадковий характер. Тому автором зроблено висновок щодо необхідності запровадження дієвого поточного контролю, який би дозволяв виявити та усунути похибку до її поширення в контурі управління, що зумовлює оперативність як одну з основних характеристик засобів контролю похибок.

Запропоновано метод *зі зростаючою точністю обчислень*, який, на відміну від методів «прогноз — корекція», дозволяє послідовно, зокрема, і на окремих кроках інтегрування, отримувати значення шуканої функції стану динамічних систем з порядком точності локальної похибки, що збільшується.

Запропоновано методи *алгоритмічного контролю*, які може бути

застосовано для контролю процесу обчислень при будь-яких методах числового розв'язування рівнянь динаміки, а саме: екстраполяційний та інтерполяційний методи контролю. Методи ґрунтуються на застосуванні контрольного алгоритму, який виконується на етапі числового розв'язування поставленої (основної) задачі, але такого, що простіший за основний. Відмінність екстраполяційного та інтерполяційного методів контролю полягає у характері інформації, яка застосовується при контролі: в першому випадку, в контрольному алгоритмі, використовується інформації, яку вже проконтрольовано на попередніх кроках основного алгоритму, а в другому — поточна інформація, що дозволяє організувати неявний контроль та забезпечити зменшення діапазону відхилення величини i , у підсумку, отримати зниження рівня шуму.

Крім того, запропоновано критерії, які дозволяють зробити висновок про наявність (або відсутність) похибки в основному алгоритмі числової реалізації ММ динамічної системи, що дає змогу виявляти збої в роботі основного обчислювального алгоритму. На підставі цих критеріїв запропоновано *адаптивні* методи контролю достовірності реалізації ММ динамічних систем, відмінність яких полягає у визначення параметрів контрольного алгоритму з умови мінімуму обраної міри близькості результатів, отриманих за контрольним та основним алгоритмами.

у **четвертому розділі** розглянуто досвід практичного застосування методів аналізу похибки та контролю достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в задачах їх моделювання та управління. В якості типового прикладу динамічної системи при дослідженні було обрано перетворювач сигналів акустичної емісії (ППСАЕ), що застосовується в системах неруйнівного контролю технічних об'єктів, і для якого було розроблено ММ у вигляді інтегрального рівняння Вольтерри II роду.

При цьому виконано прогнозне оцінювання точності моделювання первинного перетворювача сигналів АЕ, яке, на підставі запропонованого методу ранжирування похибки, дало змогу отримати оцінку неусувної похибки визначення вектору шуканої функції вихідної координати ППСАЕ з ймовірністю отримання вірного розв'язку не нижче 0,96.

Розроблено практичні заходи організації процедур визначення точності та контролю достовірності обчислювальної реалізації ММ динамічних систем.

у **додатках** розроблено, зокрема, процедуру самоконтролю при виконанні алгоритму методу зі зростаючою точністю обчислень в процесі розв'язування задач обчислювальної реалізації моделей динамічних систем. При цьому, в якості прикладу, було розглянуто застосування запропонованого методу зі зростаючою точністю обчислень в задачі для другого порядку точності.

Також у додатках розглянуто спосіб прийняття рішень за яким визначається наявність або відсутність збою та приймається рішення щодо подальшого перебігу обчислювального процесу. Для визначення способу прийняття рішення запропоновано міру розбіжності значень (або їх не збігання), отриманих за основним та контрольним алгоритмами, а також призначено допуск на цю міру та обрано стратегію управління обчислювальним процесом.

Крім того, у додатках представлено акти впровадження результатів

дисертаційної роботи у діюче виробництво та у навчальний процес.

Таким чином, зібраний у дисертаційній роботі ПРОКОФЬЄВА А. Ю. теоретичний та практичний матеріал було проаналізовано автором з використанням різноманітних підходів, принципів і методів наукового пошуку, що дозволило забезпечити обґрунтованість і достовірність зроблених у дисертаційному дослідженні висновків.

5. СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ, ЇХ ДОСТОВІРНІСТЬ

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи ПРОКОФЬЄВА А. Ю. достатньо обґрунтовано детальним аналізом джерел за обраною проблемою, коректним використанням математичного апарату та сучасних методів дослідження. Наукові положення закономірно впливають з результатів, отриманих за допомогою чітких викладок, підкріплено успішною реалізацією, ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами експериментальних досліджень та коректним застосуванням методів математичного та комп'ютерного моделювання, які було використано під час виконання роботи.

Експериментальні дослідження базуються на методах організації комп'ютерних засобів моделювання та обчислювального експерименту для числового розв'язування тестових задач та підтвердження одержаних теоретичних результатів; методах програмної інженерії — для розробки обчислювальних процедур та відповідних алгоритмів.

6. ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Достовірність результатів дисертаційного дослідження підтверджується їх практичним впровадженням.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропоновані методи прогнозу точності і аналізу достовірності обчислювальної реалізації ММ динамічних систем дозволяють розширити клас важливих для практики задач моделювання та управління вказаними системами, а розроблені алгоритми, що покладено в основу запропонованих методів, орієнтовано на розв'язування широкого кола інженерних та дослідницьких задач, які виникають при аналізі динамічних систем та управлінні ними.

Застосування розроблених прикладних алгоритмів прогнозування точності та достовірності числової реалізації ММ динамічних систем дозволяють забезпечити бажану точність, а також зменшити у (1,4 ... 2,5) рази кількість збоїв в процесі розв'язування реальних задач моделювання динамічних систем та управління ними.

Тому можна стверджувати, що результати та висновки, отримані у дисертаційній роботі, коректні, достатньо обґрунтовані і можуть бути рекомендовані при розв'язанні прикладних задач моделювання динамічних систем та управління ними.

7. ОФОРМЛЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОВНОТА ВИКЛАДУ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 255 сторінок, з яких 190 сторінок основного тексту, та 5 додатків (на 25 сторінках). Дисертаційна робота містить 11 рисунків та 5 таблиць, які наведено на окремих сторінках. Список використаних джерел містить 290 найменувань (на 29 сторінках). Дисертацію оформлено відповідно до вимог, визначених Міністерством освіти і науки України.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації закономірно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи. Отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль.

Основні наукові положення і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, у повній мірі відображені в публікаціях здобувача і пройшли достатню апробацію на Міжнародних науково-технічних конференціях та семінарах.

Основні результати дослідження опубліковано у 18-ти наукових роботах, в тому числі: у 8-ми статтях, які опубліковано у виданнях, включених до Переліку фахових видань України (категорії «Б») та індексуються у міжнародних наукометричних базах даних (зокрема, Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Electronic Journals Library, Google Scholar); у 1-й статті, яку опубліковано у зарубіжному виданні, а також у 9-ти тезах Міжнародних наукових конференцій (матеріали однієї з яких проіндексовано у наукометричній базі Scopus).

Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

8. ВІДСУТНІСТЬ (НАЯВНІСТЬ) ПОРУШЕННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела. Запозичення, виявлені в роботі ПРОКОФЬЄВА А. Ю., є загальноновживаними та не являють собою плагіат. Відсутність порушення академічної доброчесності підтверджується проведенням перевірки за допомогою програми StrikePlagiarism.

Таким чином, у результаті вивчення дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності не виявлено.

9. МОВА ТА СТИЛЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертацію написано логічно, послідовно, на високому науково-технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи, відповідають чинним нормам, які підтверджують що дисертант ПРОКОФЬЄВ А. Ю. оволодів

методологією наукової діяльності, яка відповідає освітньо-науковій програмі (ОНП) 121 — Інженерія програмного забезпечення, що доведено отриманими науковими результатами, які складають наукову новизну. Методологія наукового пізнання, яку застосовано при розв'язанні основних задач у відповідності до мети роботи, узгоджується з ціллю освітньо-наукової програми третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 121 — Інженерія програмного забезпечення. Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним, предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП спеціальності 121 — Інженерія програмного забезпечення.

Основні результати повною мірою віддзеркалено в опублікованих працях автора. Висновки до розділів та загальні висновки дисертації є достатньо обґрунтованими, а алгоритмічні засоби методологічного аналізу точності та достовірності обчислювальної реалізації ММ динамічних систем мають практичну значущість.

Дисертацію викладено науковою мовою, розділи дисертації пов'язано між собою структурно і змістовно, висновки ґрунтуються на результатах проведеного дослідження, що, в свою чергу, є достатньо аргументованими та доказовими.

10. ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЇ

Загалом дисертаційну роботу виконано на достатньому науково-теоретичному та практичному рівнях, що не виключає критичного підходу до окремих позицій здобувача та дозволяє висловити певні міркування та зауваження.

В якості *зауважень* до дисертаційної роботи слід вказати наступне:

1. Наведені в розділах 1.1.2 та 1.2.2 приклади динамічних систем, що описуються диференційними та інтегральними рівняннями можна було б (без втрати наочності викладення, але задля скорочення обсягу розділу 1 в цілому) перенести до додатків, обмежившись при цьому узагальненими моделями виду (1.1)–(1.4) та (1.19).

2. На стор. 95 наведено вираз (2.7) як такий, що може бути прийнято за вихідне рівняння похибки. Однак, при цьому, не міститься висновків щодо обмежень на застосування цього виразу в якості оцінки похибки в ході розв'язування прикладних задач.

3. Потребує додаткових пояснень усунення факту «завищеності» оцінок точності, які можуть виникати в процедурі методу «ранжирування за похибками».

4. В дисертаційній роботі приведено вираз для головного члена похибки в разі рівномірного кроку розбиття відрізка інтегрування, на якому відбувається контроль достовірності обчислень, однак відсутній відповідний вираз для випадку, коли крок розбиття змінює своє значення.

5. На стор. 152 дисертаційної роботи автором стверджується, що «...у загальному випадку, для екстраполяції може бути врахована будь-яка інформація щодо розв'язку, отримана за основним алгоритмом A_b , та проконтрольована на попередніх кроках числової процедури». У зв'язку з цим виникає питання: чи перевірялося застосування похідних вищих порядків для виразу (3.12)?

6. При складанні математичної моделі первинного перетворювача сигналів акустичної емісії (ППСАЕ) було враховано його застосування як одиночного джерела ехо-сигналу, або застосування в системі ехо-датчиків?

Проте, вказані зауваження *не впливають* на загальне позитивне враження від представленої дисертаційної роботи та не знижують її якість, наукової та практичної цінності.

11. ВИСНОВКИ ЩОДО ДИСЕРТАЦІЇ В ЦІЛОМУ

Представлена дисертаційна робота **«Методи аналізу точності та достовірності обчислювальної реалізації моделей динамічних систем в прикладних задачах їх моделювання та управління»** є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. Наукові публікації, в яких викладено основні положення і результати роботи, демонструють високий науковий рівень. Дисертація за своїм змістом та оформленням відповідає чинним вимогам і є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке містить нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну науково-технічну задачу.

Одержані наукові та практичні результати є значущими для галузі інформаційних технологій в цілому та інженерії програмного забезпечення зокрема. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 121 — Інженерія програмного забезпечення.

У підсумку, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, сформульованих висновків та рекомендацій, їх новизну та практичну цінність, повноту викладення в наукових публікаціях, а також відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком 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 року № 44 із змінами, а її автор — ПРОКОФЬЄВ Андрій Юрійович — заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри робототехнічних і
телекомунікаційних систем та кібербезпеки
Черкаського державного
технологічного університету,
доктор технічних наук, професор

Володимир ПАЛАГІН