



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»,

д.т.н., проф.

Іван ДЕМІДОВ

2024 р.

Висновок

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» («Hardware-software and metrological support of drones») здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка (галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування) Цзен Сіньюй – Zeng Xinyu наукового семінару кафедри інформаційно-вимірвальних технологій Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології

1. Актуальність теми дисертації

Подальший розвиток самодостатньої країни в агресивному світі сучасності вимагає інтенсивного розвитку комп'ютерно-прикладних технологій, до числа яких у першу чергу можна віднести технології дронів. Останні включають у себе не тільки проектування та дослідження різних видів конструкцій таких безоператорних засобів, але і підтримування їх діяльності на високому рівні, для чого і формується метрологічне забезпечення. Саме поєднання трьох напрямків визначає успішність конструкції створюваного засобу. Переважно для проєктованих апаратів справи ускладнюються водним середовищем.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри інформаційно-вимірвальних технологій Національного університету «Львівська політехніка»: «Теоретичні та прикладні основи метрології і вимірювань в ІТ (інформаційно-вимірвальних, кібер-фізичних, робототехнічних та інших системах), тестування якості продукції і програмного забезпечення».

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Алгоритми підтримки балансу робота розроблені та впроваджені здобувачем особисто. Опісля, їх застосувала провідна робототехнічна компанія Китаю. Ці алгоритми забезпечили стабільність і точність рухів роботів, які використовуються в різних сферах промисловості та науково-дослідної діяльності. Крім того, оптимізовано системи управління та інтеграцію давачів сили та руху для підвищення ефективності роботів у складних умовах експлуатації, що сприяло прискоренню процесу розробки нових робототехнічних рішень.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Аналіз особливостей забезпечення єдності вимірювань у сфері метрології лінійних розмірів, що здійснений у дисертаційній роботі, ґрунтується на теоретичних засадах метрології, поглибленому опрацюванні результатів вимірювань та впровадженні підходу і аналізу непевності відповідно до міжнародних стандартів. Коректність отриманих результатів базується на залученні набутих дисертантом знань основ програмування, що зумовило прикладне написання низки програм для фіксації результатів експериментів, приведених у Додатках до дисертаційної роботи. Крім того, достовірність підтверджується апробацією отриманих результатів на наукових конференціях та семінарах.

Викликає повагу залучення дисертантом порівняно нових підходів до реалізації відомих статистичних підходів до опрацювання результатів експериментів. Зокрема, залучення гаусівського розподілу через машинні методи навчання, що реалізовано дисертантом.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру.

У дисертаційній роботі отримано наступні *наукові результати*:

- **Розроблено і вдосконалено апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів і платформ для їх запуску**, вивчено методи і засоби отримання, передавання, зберігання та опрацювання інформації від сенсорів дрона, на основі встановлених метрологічно-експлуатаційних характеристик у поєднанні з методами їх регулювання, включаючи машинні методи, що дало змогу підвищити точність та зменшити непевності отриманих результатів.

- Для метрологічного забезпечення дронів і їх платформ, покращення оперативності й повторюваності і кутових характеристик запуску, стабільності виходу на напрямок експлуатації, **показано необхідність запуску дронів із плаваючої платформи**, в схему якої закладено граничні та оптимальні кути, що підлягають неперервному аналізуванню та контролю на встановлення

моменту запуску.

- Висока гідравлічна щільність середовища і зумовлені нею істотні непевності при взаємодії з дроном призвели до дослідження і розвитку методів моделювання на основі машинних методів вивчення функції регресії процесу регулювання, що базується на моделі Гауса, у поєднанні із цифровим фільтруванням зашумлених даних сенсорів, що дало змогу точніше прогнозувати поведінку дрона в складних динамічних середовищах та **вперше приймати** коректні експлуатаційні рішення з урахуванням непевності функції регулювання. Оптимізація алгоритмів фільтрації для ІВП (IMU) і інших сенсорів дозволила суттєво знизити рівень шумів і поліпшити якість зібраних даних, що зробило робота стійкішим, завдяки чому підвищилася точність і тривалість експлуатації.

- Поряд з комп'ютерним моделюванням, гідродинамічне моделювання стало основою для розуміння поведінки роботів у різних водних умовах. Інтеграція багатосенсорного обладнання робота із платформою запуску дала змогу підвищити точність реєстрації даних і їхню синхронізацію в реальному часі. Апаратне злиття даних із кількох силових сенсорів із інтелектуальною системою резервуарів для води сприяло підтвердженню стабільності й ефективності руху підводних роботів, зокрема, у змінних умовах середовища. Розробка і тестування двосередовищного робота, здатного працювати як на поверхні, так і під водою, показала важливість оптимізації переходу між середовищами. Випробування різних конфігурацій апаратного і програмного забезпечення, таких як NvidiaJetson та ROS, **дозволило удосконалити** інтеграцію систем управління і передачі даних.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Основні положення та результати дисертації повністю відображені в наступних наукових працях:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. S. Yatsyshyn, X. Zeng, «Design of the Water Strider-like Robot», *Measuring Equipment and Metrology*, Volume 84, Number 3, pp. 39-42, 2023. <https://doi.org/10.23939/istcm2023.03.039>.

Особистий внесок – вивчення конструкторсько-технологічних рішень на параметри створюваного робота-водомірки, для межі розділу «вода - повітря».

2. X. Zeng, S. Yatsyshyn, «Test Platform Paradigm for Underwater Dynamics Measurements», *Measuring Equipment and Metrology*, Volume 85, Number 1, pp. 29-34, 2024. <https://doi.org/10.23939/istcm2024.01.029>

Особистий внесок – вивчення рішень впливу тесту вальної платформи на якість роботи системи.

3. X. Zeng, Olha Lysa, "Response Time in Inertial Measurement Unit Control Algorithms", *Measuring Equipment and Metrology*, Volume 85, Number 2, pp. 5-8, 2024.

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2024.02.005>

Особистий внесок – вивчення впливу непевності результатів сенсорів руху на якість роботи системи.

4. X. Zeng, S. Yatsyshyn, Adaptive modeling of underwater robot fluid dynamics based on force measurement device, *Measuring Equipment and Metrology*, Volume 85, Number 4, pp. 7-13, 2024.

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2024.04.007>

Особистий внесок – вивчення впливу моделювання, базованого на вимірюваннях сил, на метрологічну якість роботи.

Статті у зарубіжних наукових виданнях, що включені до наукометричних баз Scopus:

1. Z. Wang, Y. Yan, X. Zeng, R. Li, W. Cui, Y. Liang, D. Fan, Joint multi-objective optimization based on multitask and multi-fidelity Gaussian processes for flapping foil, *Ocean Engineering*, Volume 294, 15 February 2024, 116862. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116862>.

Особистий внесок – застосування функції отримання багатоцільового очікуваного покращення (МОЕІ), розглядаючи розвідку та розробку як незалежні цілі.

2. Q. Liu, H. Chen, P. Guo, G. Su, W. Li, X. Zeng, D. Fan, W. Cui, Unified scheme design and control optimization of flapping wing for next-generation manta ray robot, *Ocean Engineering*, Volume 309, Part 2, 1 October 2024, 118487. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118487>.

Особистий внесок – тестування платформи на вільне плавання з метою перевірки оптимізації дизайну.

Матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій:

1. Yatsyshyn Svyatoslav; Zeng Xinyu, Metrological risks at design stage for multidisciplinary-based objects, 60th Ilmenau scientific colloquium, 4-8 Sept. 2023, p.1-4. <https://doi.org/10.22032/dbt.58677>

2. Yatsyshyn, Xinyu Zeng, A.Cherkas, Hardware and Software of water strider robot, 1-а Науково-практична конференція «Інформаційно-вимірвальні технології» ІВТ-2022, 9-10 листопада 2022, с.145-146. <https://science.lpnu.ua/uk/ivt-2022>

3. X. Zeng, S. Yatsyshyn, Test platform paradigm for underwater object's measurements, VI International Scientific and Practical Conference «Quality Management in Education and Industry: Experience, Problems, and Perspectives», Lviv, Ukraine, 16–17 November 2023, pp. 157–158. <https://science.lpnu.ua/uk/qm-2023>

4. Yatsyshyn Svyatoslav; ZengXinyu, Точність ультразвукових сенсорів роботів, 2-а Науково-практична конференція «Інформаційно-вимірвальні технології» ІВТ-2024.с. 139-140. <https://science.lpnu.ua/uk/ivt-2024>.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.

У кожному із 4-х розділів дисертації вказуються публікації, де відображено результати досліджень конкретного розділу. Опублікування відображають основні положення дисертації, а аналіз їх змісту свідчить, що вони є повністю опублікованими та апробованими.

Основний зміст роботи, теоретичні та практичні результати, висновки і дослідження, представлені до захисту, отримані автором особисто. Особисто здобувачеві належать наступні наукові результати: проведено дослідження та розроблена методологія проектування системи, що включає платформу запуску та її сам робот.

Вивчено та розвинуто метод дифузії показів сенсорів; розроблено алгоритм мінімізації впливу імпакт-факторів, зокрема та виготовлено відповідну схему, чим істотно оптимізовано проведення експериментальних досліджень; здійснено дослідження методичних компонентів сумарної похибки. Це дало змогу навчати фахівців із метрології роботі з різними видами засобів вимірювання шляхом залучення найбільш коректних машинних методів.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на семінарах та конференціях: наукових семінарах кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології». Викладені в роботі наукові положення й результати досліджень доповідалися і обговорювалися на Міжнародних науково-практичних конференціях: 1-й та 2-й Міжнародних Науково-практичних конференціях «Інформаційно-вимірювальні технології» ІВТ-2022 та ІВТ-2024, VI Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», Львів 2023, а також на 60-му Міжнародному науковому колоквиумі, Ільменау, Німеччина, 2023.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Результати роботи та виконаних досліджень мають вагоме наукове значення у спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», а також в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», а саме покращення метрологічних характеристик у робототехніці, в тому числі з використанням УЗ сенсорів локалізації об'єктів. Результати досліджень дисертації впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисциплін для підготовки фахівців за спеціальністю 152 *Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка* та за спеціальністю 175 *Інформаційно-вимірювальні технології*, в тому числі магістрів при викладанні дисципліни «Робототехніка,

системи та комплекси», та аспірантів при викладанні дисциплін «Вибрані питання опрацювання результатів вимірювань та вимірювальних сигналів», «Аналітичні та чисельні методи досліджень».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Отримані результати досліджень використано для калібрування ультразвукових смарт-сенсорів. Це дало змогу зменшити непевність вимірювання для потреб Промисловості 4.0. Окремі методи і підходи можуть бути використані за напрямком дисертації. Оскільки дисертація виконана в переважній прикладній частині на полігонах Китаю, то ми маємо змогу користуватись її відкритою частиною, наявною в бібліотеці, причому тут її родзинкою залучення відразу 3-х методів керування дронами на основі машинних алгоритмів.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

До складу дисертаційної роботи входять: перелік умовних позначень, вступ, чотири основні розділи з висновками до них, загальні висновки, список використаних джерел та додатки у кількості 4-х. Всі частини роботи взаємоузгоджені, а її структура є логічною. В загальному, дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11.3 урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри інформаційно-вимірювальних технологій ухвалили:

11.1. Дисертація Цзен Сіньюй (Zeng Xinyu) «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» («Hardware-software and metrological support of drones») - є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання розроблення апаратно-програмного та метрологічного забезпечення для дронів, що має важливе значення для метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

11.2. Основні наукові положення, методичні та програмно-технічні розробки, висновки та рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, є логічними, аргументованими, достовірними та обґрунтованими. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 6 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них: 4 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у зарубіжних наукових виданнях, що включені до наукометричних баз даних, та 4 матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», 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 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

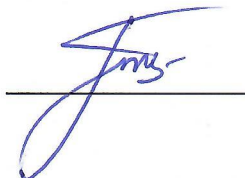
11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Сіньюй Цзен (Xinyu Zeng) дисертація «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» («Hardware-software and metrological support of drones») рекомендується для подання до розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	-	Дев'ятнадцять
проти	-	(немає)
утримались	-	(немає)

Головуючий на науковому семінарі кафедри інформаційно-вимірювальних технологій,
Завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор



Тетяна БУБЕЛА

Рецензенти:
професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій,
д.т.н., професор



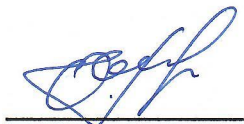
Василь ЯЦУК

професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем
д.т.н., професор



Галина КЛИМ

Відповідальна у ІКТА за атестацію PhD
к.т.н., доцент,
доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем



Оксана ГОНСЬОР

«18» 12 2024р.